§７．詳細報告

（１）RPI 活動

H19.9.14	詳細①：平成１９年度土木学会年次学術講演会研究討論会
H19.12.21	詳細②：日刊建設工業新聞紙上鼎談
H20.8.25	詳細③：長大橋の動的挙動講演会
H21.2.20	詳細④：建設・環境マネジメント講演会
H21.5.15	詳細⑤：RPI 公益法人制度改革勉強会
H21.5.29	詳細⑥：平成２０年度土木学会功績賞、RPI 理事長受賞コメント
H21.7.22	詳細⑦：第４回社会インフラの構造モニタリングに関する国際会議
H21.8.10	詳細⑧：関西大学先端科学技術推進機構研究部門別発表会
H21.8.21	詳細⑨：構造物の維持補修技術研究会（RAMS）講演会
H21.9.13	詳細⑩:第１０回構造物の安全性･信頼性に関する国際会議(ICCOSSAR)
H23.8.17	詳細⑪：駒井ハルテック講演
H23.9.16	詳細⑫：平成２３年度「橋梁の維持・管理・補修・補強」講習会（高知高専）
H23.10.1	詳細⑬：駒井ハルテック技報（vol.1.2011）投稿
H23.10.29	詳細⑭：第２４回京大、韓国科学技術院、タイ・チュラロンコン大、国立台湾大、国立シンガポール大、定例 KKCNN
H24.1.20	詳細⑮：ポーランド理論応用力学会誌投稿

研究討論会

「人口減少下における社会基盤施設の維持・管理・長寿命化の重要性 －市民の理解を得るには？－」

京都大学名誉教授・（財）大阪地域計画研究所理事長

渡邊　英一

はじめに

現在は汗を掻かないでも済む職業が好まれる時代となってきている．そのようなとき次世代の技術者の育成と伝統技術の継承は大問題となりつつある．また、建設の世界でも新設一点張りであった状況が推移して、如何に既存構造物の維持・管理を行うかが最重要課題となりつつある．社会経済活動が高度化するにつれ，生産・消費・廃棄の量的な規模が飛躍的に増大し，資源枯渇，環境破壊を引き起こしつつある．我が国の建設環境も，スクラップ&ビルドの時代からストック有効活用の時代へと大きく変わる必要があり，構造物の長寿命化・延命化は今後ますます重要な課題となることは明らかである．その際持続的発展の前提のもと、安全性の確保と同時に経済性の確保が大切となっている．これまでの時代は構造物の新造が華々しく行われたが比較的短期間での安全性・経済性が問われてきた．しかし、既存の構造物の維持・管理では長期的ビジョンが不可欠となる．また、楽しさが無ければ維持・管理の事業は絶対に長続きしない．そこで社会基盤施設の長寿命化・延命化を考え、合わせて建設及びその維持管理の事業の魅力をさらに追求せねばならない．

１．社会基盤施設の長寿命化のためのアセットマネジメントの考え方

１．１　アセットマネジメントとは

「メンテナンス＝維持・修繕」という従来からの発想を転換し、土木構造物を「資産」として捉え、工学だけでなく経済学や経営学の考え方を取り入れて計画的に資産の運用・管理をするもので、造ることだけに専念してきたインフラ整備が初めてライフサイクルに視点を移すきっかけとなるものと大いに期待されている．

平成１５年４月、「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会（委員長：岡村甫高知工科大学学長）」から発表された提言の第一項目に「アセットマネジメント導入による総合的なマネジメントシステムの構築」と題して、以下のように述べられている．

『道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の下で、「いつ」「どのような」対策を「どこ」に行うのが最適であるかを決定できる総合的なマネジメントシステムが構築できると考えられる．』

１．２　アセットマネジメントの社会的意義

私は現在財団法人大阪地域研究所（RPI）に所属している．当財団は昭和 51 年に財団法人大阪地域計画技術センターという名称で設立が許可され動物学者の宮地傳三郎が初代理事長に就任．RPI の目的は新しい時代にふさわしい環境及び安全を視野に入れた都市的機能向上と地域社会づくりの条件整備を行うことである．そのために、科学的調査研究、及び基礎的な技術開発を行い、地域における諸計画づくりに諸種の提言を行い、地域の発展と社会の向上に寄与することを使命とする．

私自身は必ずしもこのような社会資本の維持管理に関しては従来直接的関わりが多くなかったが、

平成１４年６月に上記の岡村先生が委員長の検討委員会に参画することで、社会資本のアセットマネジメントを考えるさまざまなプロジェクトに本格的に携わる機会を得た．それらの機会を通じて、様々な地方自治体の置かれている状況を理解することができたが、東京都・大阪府などの大きな自治体を除くと、多くの自治体で専門分野の技術者を育成する仕組みが稀少なことを知り愕然とした．

RPI では「まずは専門の橋梁からはじめよう」ということで、ブリッジマネジメント研究会を発足させ、関西大学の古田均教授が当研究会の会長に就任した．この研究会の目的は、技術スタッフの充実面で万全とは言い難い自治体に参加を呼びかけ、大学等の研究者、民間エンジニアにも広く集まって頂き、橋梁維持管理に関わる情報の共有化を促進するものである．財政的にとても豊かとは言えない財団が手がける事業なので、ボランティア活動の域を出ないが、地方自治体には生きた教材とも言うべきフィールド（橋梁）があり、そのフィールドとフィールドデータを提供頂き、大学研究者や民間企業との共同研究等により情報共有が促進できると考えている．

さて、全国の多くの自治体でアセットマネジメントに関する勉強（委員会）が始まっている．しかし、アセットマネジメントの意義の理解程度までは大多数の人が辿り着けるものの、実務に使えるマネジメントシステムを構築するとなると、とても一自治体の手に負えるものではない．また、よしんばシステム構築までは辿り着いたとしましてもその維持管理となるととても大変で、ほとんどの自治体がそこで逡巡し、動きが停止してしまうというのが現状ではなかろうか．例えば自治体の職員がその仕事の一部として維持管理の実務に就き、そしてその業務の交代と継承も長期間にわたり安定して行うシステムの構築が要求され、これは並大抵の努力では達成できない．そこで自治体レベルで汎用性をもって使えるものがあればありがたい、という声を耳にするにつれ、マネジメントシステムも自治体が共有できるものを作り上げる必要を痛感する．

そこで、多くの自治体が共同で使うことができ、また多くの民間エンジニア（コンサルタント）がシステムの運用支援という立場で参加できる仕組みを立ち上げたいとの希望が少なくない．国全体としては、高速道路、国道、地方道とそれぞれの重要性の違いがあるが、その違いに応じて維持管理の手法も異なる．そこで、RPI では特に、地方道、中でも技術スタッフの手薄な自治体が管理する地方道の維持管理に焦点を当てた支援活動を始めた．先日発表された中期ビジョンや平成 19 年度予算概算要求を拝見すると、地方道に対しても国の援助の手が差し伸べられる情勢にあるように思える．RPI の活動も、国の大方針に沿った形で、地味ではあるが草の根運動のような位置づけでご協力したいと考えている．

アメリカ合衆国においては 1960 年代後半から維持管理の不徹底に基づく事故が絶えない．つい最近もミネソタ州でトラスの橋梁が一瞬のうちに崩壊した．これまで米国では“America in ruins”のキャンペーンが行われたように、我が国でも国交省が中心となって「荒廃する日本としないために」というキャンペーンを展開されつつあるが、私どもRPI の活動も、その一翼を担うことができれば幸いである．

２．人口減少、少子高齢化の問題点

２．１　出生率と高齢化率

日本の合計特殊出生率（１５歳～４９歳までの女子の年齢別出生率を合計したもので「女性が一生に生む子供の数」）は 1.36 (2000 年実績)．因みに人口が減少に向かう分岐は 2.08 といわれる．
また、高齢化率（65 歳以上の人口が総人口に占める割合）は 17.4％(2000 年実績)．今後 2050 年～2080 年にかけては 36～38％と予測される．

２．２　産業の業種別分類および生産年齢人口

産業を①単純労働の業種、②対人サービス業種、③専門的知識・技能を必要とする業種に分類すると③の人材が 2010 年から不足すると懸念されている．生産年齢人口（15 歳～64 歳）についても減少．→女性や高齢者の勤労参加を促進する必要性あり．多様な雇用制度や勤務体系・施設整備が必要．経験・体力に応じた就労条件の整備が必要．

２．３　近未来世界の予測

・ 更なる出生率低下と労働力の減少→？
・ 人口減による地域格差の増大→？
・ 高齢者増大に伴う社会の負担増大→？
・ 需要の減少→？
・ 競争力の低下→？
・ インフラも人間と同じく少子高齢化する

しかし、堺屋太一は「これからの十年　日本大好機　日本ビジネス人文庫　2007年5月1日」において日本が官僚主義の体制を脱し、規格大量生産の発想を捨て、自由な競争によって多様な知恵を生み出す状況を作り出すとすれば様相は一変すると言い切っている．彼の論点を拾ってみると

・ 高齢化こそ大好機(好老社会・活老)
・ 人口の減少が経済と文化を発展させた例は多い
・ 知価革命の嵐：「満足こそ幸せ」
・ 自由な労働者は世の中を変える
・ ローコスト社会が出現
・ 知恵と時間とお金の最適配分
・ 楽しみ、安心、健康を目指して
・ 七十歳まで働くことを選べる社会
・ 子孫に残せるノウハウを持っているか

3．青森県のアセットマネジメントの取り組み

青森県のアセットマネジメントは「実践可能な一つの道筋をつけた」と評価される．当県は資源・財源的に決して恵まれた県ではないが、若手の県職員が中心となり、世の中に橋梁の維持・管理の緊急性を訴え同時に県知事を説得し、ブリッジマネジメントシステムを構築し、ついで橋梁の現地点検・診断を行い、診断技術者の訓練、対社会広報など行政として必要な対策を立てた．この結果として青森県民はもとより全国民の「橋という社会基盤」の維持・管理の経済的負担を格段に低減できることが認められた．このことは他の全国の地方公共団体などにも自覚をうながし、かつ同様な対応の可能性の希望を与えた．

まさに知事の強力なサポートの下、県土整備部幹部のリーダーシップ、若手職員の積極的な活動が三位一体となって達成できた素晴らしい事例である．行政には長期的ビジョンが必要である．橋の維持・管理によるアセットマネジメントは困難で、無限に近い長期にわたる辛い事業ではあるし、定期的にこれからの継続と事業の評価と将来に向けてのその修正をも行わねばならない．青森県は基本的な橋の維持・管理の骨格を作り上げ、経年的にその精度を向上させるプロセスを採用している．しかも、当県は、システム構築だけでなく、人材の育成（インハウスエンジニアならびに地元エンジニアの教育・育成）や市民の理解を得るための対社会広報活動にも積極的で、トータルなマネジメントに取り組んでいる．

現在建築の分野ではマンションなどの耐震強度偽装・偽造問題で世の中が揺れているが、今後は新築時の構造安全性のみならず、劣化を考慮した構造安全性の論議に移るように思われる．橋梁など社会基盤についても、その新造時の安全性はもとより劣化を考慮した安全性と維持・管理のコストパフォーマンスが問題となる．

さて、橋梁の一般的な劣化予測の理論は完成の域に達しているとは思えないし、今後も飛躍的な学問的発展は難しいと考えられる．しかしながら現在原子力発電所の設備の損傷ほどの緊急課題では無いかも知れないが、このまま放置すると、つい最近も米国ミネアポリスでの橋の崩壊事故のように、最早一刻も猶予できない事態が迫っているように思われる．例えば木橋の例であるが、江戸時代の「永代橋」の例がある．この橋を管理者は維持・管理していた積もりでいたようであるが、完成後90年も放置していたにも拘わらず、楽観視していたことが災いし、劣化に起因する落橋のため1,000人以上の命が瞬時に失われたのである．したがって劣化予測の学問が例え完成していなくとも、兎に角現在の知識を総動員して何かを実行して将来懸念される状況に備えることが大切に思われる．

事実劣化の様子は構造物の種類、材料の種類、部位などによって千差万別であるが、全ての橋梁と全ての部位を網羅する形でこの道のエクスパートの力を借り、例外なく、緊急に、劣化性状を予測し、この予測を現地での計測によって修正し、制度を格段に向上すること、ならびにこれまでの実

績を調べてライフサイクルコストの積算を行うことが必要である．このような方式で青森県では橋梁のアセットマネジメントが現在実行されている．繰り返すと、学術的にはまだまだ不十分な部分が多々あるにもかかわらず、行政は学問の完成を待たずに必要に応じて実行に踏み切らなくてはならないことを自覚の上、率先して実行することが重要である．

青森県の努力で感動させられるのは、若い職員たちが勇気をもって「橋梁の維持管理は自分たちの社会的責任であり、積極的に行いたい」と知事の三村申吾さんに申し出たことである．すると知事は「よし、若くて県の将来を担うお前たちがそう信じるならやれ」ということになり、基本的にアセットマネジメントの事業が開始されることになった．その後オープンされた場でアセットマネジメントの技術提案の審査が行われ、最終的に一番優れた提案が採用され、それをベースにして第三者の委員会が設置された．

青森県の業績は以下のように箇条書きにしてまとめられる．

(i) 橋梁の効率的維持管理を行うための各システムの完成

(1) アセットマネジメントシステム

橋梁点検から現場施工まで全て取りこぼし無く一連で行える全国初の橋梁トータルマネジメントシステムを完成させた．このデータをもとに橋梁の状態の将来予測を行うことができるようにした．

(2) 点検支援システム

橋梁点検コストを８０％以上削減できるシステムを完成させた．

(ii) 各地方自治体のリーダーとしての取り組み

(1) 全国アセットマネジメント担当者会議の設立

平成１６年度から青森県の呼びかけで自主的にアセットマネジメントについて検討する担当者会議の幹事会を設立（20 弱の自治体参加）し、現在までに幹事会を４回以上開催している．

他に全都道府県に呼びかけて開催した全国会議（４１自治体参加）を平成１７年１１月に開催．アセットマネジメントの普及を目指したアセットマネジメントフォーラム（自治体・建設関係者など４００名以上の参加）を平成１７年１月に開催している．

(2) アセットマネジメント講座の執筆

日経コンストラクションの９～１１月号にて、「これから始めるアセットマネジメント」講座を執筆し、点検からシステム作成までの具体的な手法を紹介し、全国的な取り組みを支援した．

(3) 土木学会「アセットマネジメント研究小委員会」への参加と執筆

１１月に土木学会より出版された「アセットマネジメント導入への挑戦」の執筆の一部を担当し、全国的な取り組みを支援した．

(iii) アセットマネジメントの普及への取り組み

(1) 国内外へむけた講演活動

- 第３回ﾗｲﾌｻｲｴﾝｽｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ国際会議
- アセットマネジメントフォーラム（担当者会議主催、橋梁新聞協賛）
- 土木学会アセットマネジメント講演会（土木学会主催）
- 日本ナレッジセンター講演会
- 日本計画研究所フォーラム（２回開催）
- 国際橋梁維持・安全対策検討学会(IABMAS)(2006 年 7 月参加予定)

(2) 技術発表会への参加

- 第２６回日本道路会議
- ｱｰﾊﾞﾝｲﾝﾌﾗﾃｸﾉﾛｼﾞｰ第 17 回技術研究発表会（奨励賞受賞）

(iv) 産学官の協力体制構築および県民に対する取り組み

(1) 建設業界に対する取り組み

- 橋梁点検研修会の開催（青森県橋梁点検員の資格制度）
- 橋梁補修技術研究会の開催
- 岩手県設計測量研修会での講演

(2) 大学との取り組み

- 産学官共同研究会による研究（弘前大学・八戸工業大学）
- 本県のシステムづくりに協力（京都大学・東京大学）

(3) 職員の技術力向上への取り組み

・　橋梁点検研修会の開催
・　橋梁設計研修会の開催
・　橋梁補修設計研修会の開催

⑷ 県民へのアカウンタビリティ向上の取り組み

・　県内の広報番組で橋梁の維持管理の必要性を放送
・　全国紙・地方紙など各種マスコミで取りあげられる（３０回以上）

４．スマート橋梁の提案

機械と生物の最大の違いの一つは前者が一般に劣化すると人が保守をしなければ機能しなくなる．一方生物は自律的に再生し、新陳代謝し、自己修復できる．また、人間は高齢となると身体を動かしてフル回転するのは苦手となる．橋梁の維持管理の仕事はデスクでできること（内業）と橋梁の現地でしかできないこと（外業）に分かれるが外業の点検・モニタリング、修復などは担当者のアクセスが一般に容易ではなく、悪天候下でも身体をフルに動かさないとできないのが常識である．高齢者に限らず若者にとってもこの様な作業は敬遠される．しかも、その環境は過酷なことが多い．さて、動物の身体には脳細胞、五感（センサー）、神経パルス情報伝達系、筋肉系・骨格系、血液・リンパ系（循環系）、血液などの浄化システム、老廃物・毒物の排泄システムがあるが、橋梁のシステムでも同様なシステムが必要であろう．ここでの提案はこの様な動物のシステムを橋梁システムに適用することを考える．さらにこれに構造システム内に長期的に貯蔵された栄養剤・薬・中和剤を構造物の患部に輸送する供給システムを追加する．このような自律的修復を可能とするために日本鋼構造協会では関西地区を中心とする特別委員会（建築と土木の二部会制）を立ち上げる．土木の部会では下記のように、構造物へのスマートマテリアル技術の応用を取り上げることが決定されている．当委員会の幹事長（土木のＷＧ長）に就任される関西大学古田均教授のご提案である．

(i)　モニタリング・センシング技術（自己探査・自己点検）の応用技術
(ii) 自己診断スマートマテリアル技術（自己修復・自己制御機能技術）の応用技術

例えばこのような魅力的な課題を掲げ将来の社会基盤の担い手を育成することは私のような高齢者にとって極めて重要な責務であると思っている．

詳細②：日刊建設工業新聞紙上鼎談

「長大橋の動的挙動」講演会のお知らせ

この度、(財)大阪地域計画研究所は近畿地方整備局港湾空港部のご後援を受けて、「長大橋の動的挙動　ー実測とシミュレーションー」と題しまして、東京大学　藤野陽三先生の講演会を開催いたします。

昨今の港湾整備事業において、橋梁に関する技術習得の重要性も増しており、この講演会を機に皆様方の土木技術に関する知識の向上の場としていただければ幸いです。

講演題目　「長大橋の動的挙動　ー実測とシミュレーションー」

講演者　藤野　陽三　東京大学教授

講演内容　風・地震のような自然外力や活荷重等による振動等により、安全性や環境への影響が問題になるが、このような問題に対して免振・制振対策が有効に活用されており、センサー等を用いた計測が発展を遂げつつあります。本講演では特に実測とシミュレーションなどに関する講演を予定しております。講演後、約 20 分程度質疑応答の時間を設けています。

日時　平成 20 年 8 月 25 日(月)
受付　14:30～
講演会　15:00～17:00

会場　神戸地方合同庁舎 1 階第 4 会議室
住所:神戸市中央区海岸通 29(右図参照)

受付は会議室入口に設けております。参加申込者は受付で、お名前，所属をお伝え下さい。

申込をしていない方で、聴講を希望される場合は、名刺をご提出下さい。
(会場の関係で、聴講をお断りする場合がありますので、ご了承下さい。)

主催　(財)大阪地域計画研究所　理事長　渡邊　英一　京都大学名誉教授

後援　近畿地方整備局港湾空港部

問合先　近畿地方整備局港湾空港部　海洋環境・技術課　担当:浅香
E-mail:asaka-t86s3@pa.kkr.mlit.go.jp　TEL:078-391-3103　FAX:078-325-8288

詳細④：建設・環境マネジメント講演会
詳細④：山口ブリッジマネジメントワークショップ
（山口大学と共同開催）

第8回 建設・環境マネジメント講演会
「ブリッジマネジメントフロンティア」

メインテーマ
ブリッジマネジメントフロンティア
日時
平成21年2月20日（金） 10:00～19:10
場所
山口大学工学部 D11教室（宇部市常盤台2-16-1）
参加費
無料
主催
山口大学工学部「建設・環境マネジメント研究会」、大学院理工学研究科附属「 安全環境研究センター」、リハテック研究会、（財）大阪地域計画研究所（RPI）ブリッジマネジメント（BM）研究会、山口大学メインテナンス工学研究所

共催
日本材料学会中国支部、 土木学会中国支部、他（共催依頼中）

プログラム

10:00 ～ 10:10	開会挨拶	宮本　文穂　氏（山口大学大学院 教授）
10:10 ～ 11:20	講演題目：山口県の橋梁長寿命化の基本計画とデータベース化	講師：長岡　克典 氏（山口県道路整備課 主査）
11:20 ～ 12:30	講演題目：岐阜県における橋梁維持管理の取り組み	講師：森本　博昭 氏 （岐阜大学 社会資本アセットマネジメント技術研究センター 副センター長・教授）
12:30 ～	休憩	

13:30		
13:30 ～ 15:00	講演題目：米国橋梁維持管理の現状調査報告	講師：金氏　眞 氏（RPI 理事）
15:00 ～ 15:20	休憩	
15:20 ～ 16:50	講演題目：米国ミネアポリス橋梁崩壊事故の教訓	講師：依田　照彦 氏（早稲田大学理工学術院 教授）
16:50 ～ 17:00	閉会挨拶	古田　均 氏（BM 研究会会長・関西大学 教授）
17:10 ～ 19:10	意見交流会（工学部 総合研究棟８F ラウンジ，参加費 2,000 円）	

詳細は

http://civil.design.csse.yamaguchi-u.ac.jp/8thsymposium/

を参照


第8回
建設・環境マネジメント講演会
論文集
Proceedings of Infrastructure & Environmental Management
Symposium in Yamaguchi 2009
Edited by
Ayaho Miyamoto
Hitoshi Furuta
Yusuke Mizuno
YAMAGUCHI UNIVERSITY
20th February, 2009
Ube Yamaguchi, Japan

目次(Contents)

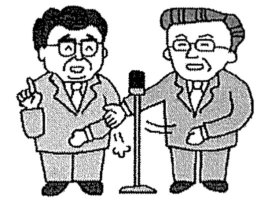
勉強会：公益法人制度改革

出典：フリー百科事典
『ウィキペディア（Wikipedia）』

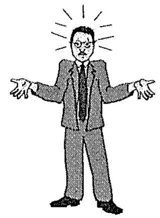
2009年5月15日

特例民法法人　大阪地域計画研究所
（RPI）

本当は牟田・渡邊の漫才をする予定
であった



時間をもてあますんとちゃうか



公益法人制度改革とは

- 2000年から2008年にかけて行なわれた公益法人制度に関する制度改革である。

目　次

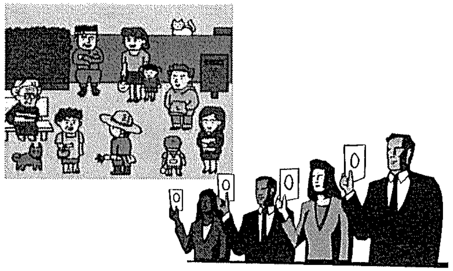
- 1 概説
- 2 これまでの経緯
- 3 公益法人制度改革関連3法
- 4 制度改革のポイント
  - 5 公益目的23事業
- 6 行政委託型公益法人
- 7 税制改正案の骨子
- 8 関連項目
- 9 外部リンク

概　説　1/4

- 制度改革の目的は、民間非営利部門をして日本の社会経済システムの中でその活動の健全な発展を促進させるために、行政委託型公益法人を含めて民法で定められていた公益法人制度を抜本的に見直すことにある。

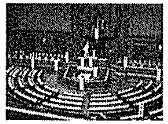
概 説 2/4

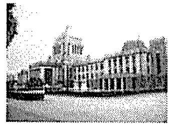
- すなわち、寄附金税制の抜本的改革を含めて、「民間が担う公共」を支えるための税制の構築を目指すことにある。その前提として法人法制の改革が進められている。現在、内閣府の公益認定等委員会（民間人による合議制機関）で「不特定かつ多数の者の利益」に関するガイドライン（いわゆるパブリック・ベネフィット・テスト）の審議が行われている。



概 説 3/4

- この公益法人制度を抜本的に改革するため、2006年3月に「公益法人制度改革関連3法案」が閣議決定され、同年5月に第164回通常国会において法案が成立した。2008年12月から施行され、新制度に移行している。





概 説 4/4

- その柱は、法人格取得と公益認定の切り離し、準則主義による非営利法人の登記での設立、主務官庁制廃止と民間有識者からなる合議制機関による公益認定、公益認定要件の実定化、中間法人の統合、既存の公益法人の移行・解散などである。
- 税制については、2008年1月23日に税制の改正案が国会へ提出されている。

コメント 1/2: 一般法人法が求めているもの Perry Johnson セミナー資料

- 公益法人制度改革によって法人運営の原則が変化
- 民間企業と同等の経営原則の時代
- 役員の責任：定款自治 自己責任

法人運営の適正化を図るため、理事の法人または第三者に対する責任規定、社員による代表訴訟制度及び法人の財務状況の一般的な開示制度を設けることにより株式会社制度と同等の自律的ガバナンスを確保

従来制度：
- 主務官庁による監督

「自由裁量」

新制度：
- 行政庁による監督

「き束裁量」＝定められた枠の中で、一定の要件を満たしているかどうか判断すること
- 定められた枠＝公益三法

コメント 2/2 一般法人法と会社法 Perry Johnson セミナー資料

[一般法人法]	[会社法]
第76条3項3号、第197条	第348条3項4号
大規模公益法人の場合	会社法上の大会社の場合
・「理事の職務の執行が法令及び定款に適合することを確保するための体制その他一般社団法人（または一般財団法人）の業務の適正を確保するために必要なものとして法務省令で定める体制の整備」を理事会で決定しなければならない	・「取締役の職務の執行が法令及び定款に適合することを確保するための体制その他株式会社の業務の適性を確保するために必要なものとしての法務省令で定める体制の整備」を取締役会で決定しなければならない

一般法人法は会社法を丸飲み：「うちにはできない」では許されない

これまでの経緯 1/4

- *1896年* - 民法制定
  - 日本における公益法人制度のはじまり
- *2000年12月* -「行政改革大綱」閣議決定
  - 公益法人に対する行政の関与の在り方について策定
- *2001年1月* - 行革大臣から各府省に国所管の公益法人の総点検要請
- *2001年4月* -「行政委託型公益法人等改革の視点と課題」公表

これまでの経緯 2/4

- *2001年7月* -「公益法人制度についての問題意識－抜本的改革に向けて－」公表
  - 公益法人の基本制度及び関連制度の全般について抜本的な見直しを行い、公益法人制度改革の大綱を策定
- *2002年3月* -「公益法人制度の抜本的改革に向けた取組みについて」閣議決定
- *2002年4月* -「公益法人制度の抜本的改革の視点と課題」公表
- *2002年8月* -「公益法人制度の抜本的改革に向けて(論点整理)」公表
  - 公益法人制度の抜本的改革に関する懇談会を設置

これまでの経緯 3/4

- *2003年6月* -「公益法人制度の抜本的改革に関する基本方針」閣議決定
  - 公益法人制度改革に関する有識者会議を設置
- *2004年11月* -「公益法人制度改革に関する有識者会議報告書」を公表
- *2004年12月* -「今後の行政改革の方針」閣議決定
  - 今後の行政改革の方針の中で、公益法人制度改革の基本的枠組みを具体化
- *2006年3月* -「公益法人制度改革関連3法案」閣議決定、第164回通常国会に法律案提出

これまでの経緯 4/4

- *2006年4月* - 衆議院本会議で可決
- *2006年5月26日* - 参議院本会議で可決、法律が成立。7項目からなる附帯決議を採択。
- *2007年2月20日* - 衆議院本会議で公益認定等委員会委員の同意議案可決される。
- *2007年2月21日* - 参議院本会議で同議案可決される。
  - 税制、公益認定、政・府省令の策定については今後具体化

公益法人制度改革関連3法

以下の三つの法律から構成される。

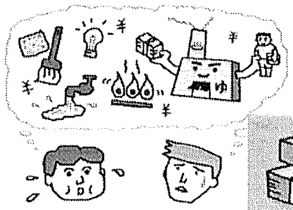
- 「一般社団法人及び一般財団法人に関する法律」(平成18年法律第48号。**一般社団・財団法人法**)
- 「公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律」(平成18年法律第49号。**公益法人認定法**)
- 「一般社団法人及び一般財団法人に関する法律及び公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律」(平成18年法律第50号。**関係法律整備法**)

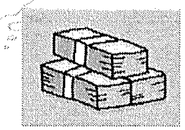
制度改革のポイント

(1)一般社団法人・一般財団法人

3

公益法人化　一般法人化





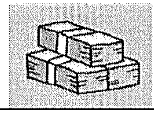
- 一般社団法人は、社員2名以上で設立可能で、設立時の財産保有規制は設けない。
- 一般財団法人は、純資産300万円以上で設立可能。
- 遺言でも設立可能。
- 準則主義(登記)によって法人格を取得(許可制は廃止)。
- 公益認定をうけても、法人格は一般社団法人・一般財団法人である(例えば「一般財団法人のみ許可する」という法があった場合、それは公益認定された財団法人にも及ぶ)。

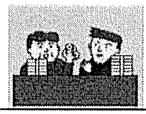
制度改革のポイント

(2) 公益社団法人・公益財団法人

- 公益社団法人・公益財団法人の認定は、内閣総理大臣および都道府県知事が行う。
  - －主務官庁制は廃止。
- 有識者からなる合議制の委員会が上記行政庁から諮問を受け、公益性を認定(2007年11月9日現在設置されている国、大阪府、兵庫県の委員会の名称は「公益認定等委員会」))。

- 公益認定の要件(公益法人認定法第5条)は、公益目的事業支出が全支出の50%以上であることなど17項目。ほかに同法6条に欠格事由あり。「公益目的事業」の定義は、同法別表の23事業に該当し、なおかつ、不特定かつ多数の者の利益の増進に寄与するもの(同法2条)。





制度改革のポイント

(3) 新制度への移行

4

- 現行の公益法人は特例民法法人とし、2008年12月1日の法律完全施行日から5年以内に新制度に移行。
- 公益認定を受けた場合は、公益認定を受けた一般社団・財団法人へ移行となり、定款中の名称を「公益社団法人・公益財団法人」と変更したものとみなされ(名称変更の登記手続きが必要)、その名称を用いなければならない。
- 公益認定を受けず(あるいは受けられず)に登記のみした場合は、一般社団法人・一般財団法人へ移行。

- 5年以内に何もしなかった場合は、解散となる。
- 公益認定を受けない一般社団・財団法人へ移行した法人は、合議制機関に既存の財産及び公益性のある事業に付随する収入を当該事業で使い切るための「公益目的支出計画」を提出し、これについて監督を受ける。

制度改革のポイント

(4) 税の優遇措置

- 公益社団法人及び公益財団法人に対する法人税の優遇措置
- 一般社団法人及び一般財団法人(ともに法人税法施行令第3条に掲げる非営利型法人に限る。)に対する法人税の優遇措置
- 所得税および住民税に関わる控除措置(個人)

- 法人税の寄附金損金算入(法人)
  - 現行の特定公益増進法人に準ずるかどうかは、7項目からなる附帯決議採択にとどまり、その後の具体化に委ねられた(その後、2008年1月23日に税制改正案が国会に提出された)。

制度改革のポイント

(5) 中間法人とNPO法人

- 中間法人法に基づく中間法人は、中間法人法を廃止して一般社団法人へ移行。
- 特定非営利活動促進法に基づく特定非営利活動法人(NPO)法人は、現行通り存続。

公益目的23事業 1/5

公益法人認定法別表の23の事業とは、以下の通りである。

- 一 学術及び科学技術の振興を目的とする事業・・・例 土木学会はこの方向で進行中
- 二 文化及び芸術の振興を目的とする事業

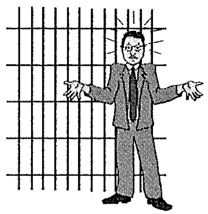
公益目的23事業 1/5

- 三 障害者若しくは生活困窮者又は事故、災害若しくは犯罪による被害者の支援を目的とする事業
- 四 高齢者の福祉の増進を目的とする事業
- 五 勤労意欲のある者に対する就労の支援を目的とする事業

公益目的23事業 2/5

- 六 公衆衛生の向上を目的とする事業
- 七 児童又は青少年の健全な育成を目的とする事業
- 八 勤労者の福祉の向上を目的とする事業
- 九 教育、スポーツ等を通じて国民の心身の健全な発達に寄与し、又は豊かな人間性を涵養することを目的とする事業
- 十 犯罪の防止又は治安の維持を目的とする事業

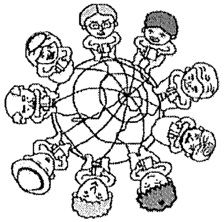
犯 罪 の 防 止



公益目的23事業 3/5

- 十一 事故又は災害の防止を目的とする事業
- 十二 人種、性別その他の事由による不当な差別又は偏見の防止及び根絶を目的とする事業
- 十三 思想及び良心の自由、信教の自由又は表現の自由の尊重又は擁護を目的とする事業
- 十四 男女共同参画社会の形成その他のより良い社会の形成の推進を目的とする事業
- 十五 国際相互理解の促進及び開発途上にある海外の地域に対する経済協力を目的とする事業

国 際 相 互 理 解



公益目的23事業 4/5

- 十六　地球環境の保全又は自然環境の保護及び整備を目的とする事業
- 十七　国土の利用、整備又は保全を目的とする事業
- 十八　国政の健全な運営の確保に資することを目的とする事業
- 十九　地域社会の健全な発展を目的とする事業

公益目的23事業 5/5

- 二十　公正かつ自由な経済活動の機会の確保及び促進並びにその活性化による国民生活の安定向上を目的とする事業
- 二十一　国民生活に不可欠な物資、エネルギー等の安定供給の確保を目的とする事業
- 二十二　一般消費者の利益の擁護又は増進を目的とする事業
- 二十三　前各号に掲げるもののほか、公益に関する事業として政令で定めるもの

行政委託型公益法人

以下の行政委託型の公益法人については、廃止・縮小の措置を講ずる。

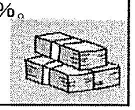
- 第三者分配型公益法人（丸投げ法人）
- 補助金依存型公益法人（丸抱え法人）
- 役員報酬助成型公益法人（天下り法人）

税制改正案の骨子

2008年1月23日に国会に提出された税制改正案（所得税法等の一部を改正する法律案）においては、新公益法人については以下のような骨子となっている。

税制改正案の骨子 2/4

- 非本来事業（「収益事業等」）の（法人税法上の）収益事業について課税。本来事業（「公益目的事業」）については、収益事業34業種にあたっても、非課税。
- 税率は30%。ただし、所得額800万円までは22%。
- みなし寄付金の控除上限は、100%。
- 利子の源泉所得税は、非課税。



税制改正案の骨子 3/4

- 寄附者は所得控除を受けられる(特定公益増進法人、認定特定非営利活動法人と同様)。
- 相続財産を贈与した場合、非課税。
- 取得時から寄附時までのいわゆる含み益を含んだ資産を譲渡した場合、含み益分についての所得税が非課税。
- なお、(公益認定を受けない)一般社団・財団法人については、(1)完全非営利、(2)共益型は収益事業課税、それ以外は全部課税とされている。

税制改正案の骨子 4/4

- 新公益法人については、本来事業がすべて非課税となれば、従来の特定公益増進法人、認定特定非営利活動法人(認定NPO法人)よりさらに有利な扱いであり、一般社団制度には出資金にあたる基金制度が創設されたこととあわせて、いわゆる社会的企業の受け皿として最有力になるとする見方が提出されている。また、みなし寄附の上限が100%となれば、本来事業の赤字を非本来事業の収益事業の黒字で穴埋めするタイプの事業モデルの法人にとっても有利と指摘されている。

特例民法法人、公益法人、一般法人の違い 1/2

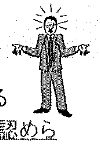
	特例民法法人	公益社団・財団法人	一般社団・財団法人
移行の認定・認可の要件		法人法及び認定法に適合していること。 →公益認定等委員会・都道府県の合議制の機関が審査し、行政庁が認定を行う。	法人法及び認定法に適合していること 公益目的支出計画が適正かつ確実であること →公益認定等委員会・都道府県の合議制の機関が審査し、行政庁が認可を行う。
事業など 	適法であれば制限なし。ただし、従来の主務官庁に認められた事業に限る。	公益目的事業50/100以上にしなければならないなど公益認定基準を遵守し、事業実施することが必要。なお、事業変更に当たっては、変更の認定が必要になる場合がある。	公益目的支出計画実施中は、公益目的支出計画に定めた実施事業等を着実に実施すること。それ以外については、法人の創意工夫により公益的な事業はもとより柔軟な事業展開が可能。

特例民法法人、公益法人、一般法人の違い 2/2

	特例民法法人	公益社団・財団法人	一般社団・財団法人
監督など	従来の主務官庁により監督が行われる。	公益認定等委員会・都道府県の合議制の機関による報告徴収、立ち入り検査の実施、行政庁による勧告・命令、認定のと取消しがある。	原則、法人の自主的な運営が可能。公益目的支出計画実施中は、毎事業年度行政庁に対して実施報告をする必要がある。公益目的支出計画が終了すれば、報告も不要となる。
税制 	従来と同様の措置	・法人税において収益事業のみに課税(ただし、認定法上の公益目的事業と認められれば非課税)。 ・寄附優遇の対象となる「特定公益増進法人」に該当。 ・個人住民税における寄附優遇の措置。	「非営利性が徹底された法人等」(注) ・法人税において収益事業のみに課税。登録免許税及び受取利子等に係わる源泉取得税の課税。 「それ以外の法人」 ・普通法人と同等の課税。
(注)「非営利性が徹底された法人等」とは、「非営利性の徹底された法人」または「共益的活動を目的とする法人」のこと			

役員の責任と個人リスク 役員の責任①

Perry Johnson セミナー資料



法人の役員が主役の運営が求められる

新しい制度では、名前だけの理事等は認められず、理事、評議員、監事がその職を全うすることが求められる。機関決定のみならず、職務分掌規程、職務権限規程等を定め、運営における執行、監督、監査を行うとともに、内部統治(ガバナンス)、内部統制、適正開示について適切な役割を果たす必要がある。

役員の責任と個人リスク 役員の責任②

Perry Johnson セミナー資料

役員には個人リスクが存在し、連帯責任が基本

[一般法人法 第118条(役員等の連帯責任)]

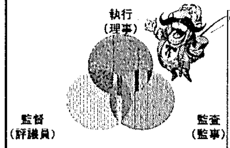
役員等が一般社団法人または第三者に生じた損害を賠償する責任を負う場合において、他の役員等も当該損害を賠償する責任を負うときは、これらの者は、連帯債務者とする。

＊役員等:理事、評議員、監事、会計監査人

[一般法人法 第113条(責任の一部免除)]第112条「一般社団法人に対する損害賠償責任の免除」の規程にかかわらず、役員等の第111条第1項「役員等の一般社団法人に対する損害賠償」の責任は、当該役員等が職務を行うにつき善意でかつ、重大な過失がないときは、第一号に掲げる「賠償の責任を負う額」から第二号に掲げる額(第115条第1項において「最低責任限度額」という。)を控除して得た額を限度として、社員総会の決議によって免除することができる。

役員の責任と個人リスク
役員の責任③—1
Perry Johnson セミナー資料

内部統治(ガバナンス)の内部統制が法人運営の要

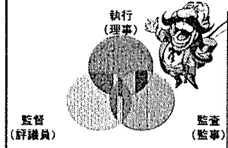


内部統治(ガバナンス)の仕組み

[内部統制]
内部統制は目的を達成するために、法人と委任契約関係にある役員が、その役割に応じて、執行・監督・監査を行うことで、法人の内部統治(ガバナンス)を含めた公益三法を遵守した法人の「体制と態勢」を確保するための仕組み(プロセス)

役員の責任と個人リスク
役員の責任③—2
Perry Johnson セミナー資料

内部統治(ガバナンス)の内部統制が法人運営の要



内部統治(ガバナンス)の仕組み

[役員の重要な役割は内部統制の整備と運用]
法人の役員が適切な内容の内部統制システムを構築し、当該システムに基づいて監督を行っていた場合には、個別具体的な違法行為を探知できなかったとしても、原則として、監督義務は尽くされたと判断される。

役員の責任と個人リスク
役員の責任④
Perry Johnson セミナー資料

監事には、内部統制(ガバナンス)監査、業務監査も求められる。

[監事に必要な力量(以下の条件のいずれかを充たす者)]

(内閣府公益認定等委員会FAQ)
1. 法人の業務運営に一定の知見を有し、業務監査能力を備えている。
2. 会計制度に一定の知見を有し、計算書類の監査能力を備えている。
3. 関係法令に一定の知見を有し、理事(会)の職務の執行(決定)等が法令に違反しないよう監視できる能力を備えている。

役員の責任と個人リスク
役員の責任⑤
Perry Johnson セミナー資料

役員就任依頼時に「説明責任」を果たさなければ大きなリスクとなる可能性がある。

[一般法人法]

(設立時社員等の損害賠償責任)
- 第23条　設立時社員、設立時理事または設立時監事は、一般社団法人の設立についてその任務を怠ったときは、当該一般社団法人に対し、これによって生じた損害を賠償する責任を負う。2　設立時社員、設立時理事または設立時監事がその職務を行うについて悪意または重大な過失があったときは、当該設立時社員、設立時理事または設立時監事は、これによって第三者に生じた損害を賠償する責任を負う。

(設立時社員等の連帯責任)
- 第24条　設立時社員、設立時理事または設立時監事が一般社団法人または第三者に生じた損害を賠償する責任を負う場合において、他の設立時社員、設立時理事又は設立時監事も当該損害を賠償する責任を負うときは、これらの者は、連帯債務者とする。

内部統治(ガバナンス)・内部統制と法令化社会　①
Perry Johnson セミナー資料

「新GCD3原則運営」と内部統制システム

代表理事が主役の内部統制システムの構築が条件

G=ガバナンス
C=コンプライアンス
D=ディスクロージャー

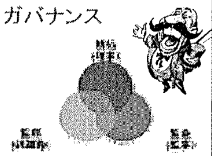
健全な内部統制システムによって組織全体に浸透させる

- **「新GCD3原則運営」とは、従来の価値観の範疇にあるガバナンス、コンプライアンス、ディスクロージャーではなく、法化社会によってその意味を変えたGCDによって運営を行うことであり、「新GCD3原則運営」は公益法人に新しい価値観を与え、価値の向上に貢献する。**

内部統治(ガバナンス)・内部統制と法令化社会　①
Perry Johnson セミナー資料

「新GCD3原則」の意味

ガバナンス



規定化、相互牽制、モニタリング評価、見直しを行う

コンプライアンス

法令のみならず、組織の行動憲章、社会規範、組織内の規程、規則、マニュアル等の遵守を含む

ディスクロージャー

規程化、適正開示のみならず、証拠開示(ディスカバリー制度対応)をも含む。

内部統治(ガバナンス)・内部統制と法令化社会 ①
Perry Johnson セミナー資料
今後の運営に欠かせない大きな2つの視点

司法制度改革について

21世紀の我が国では、社会の複雑・多様化、国際化などに加え、規制緩和などの改革により、「事前規制型」から「事後監視・救済型」に移行するなど、社会のさまざまな変化によって、司法の役割はより一層重要なものになると考えられる。

大陸法型の原則から英米法型の原則へ

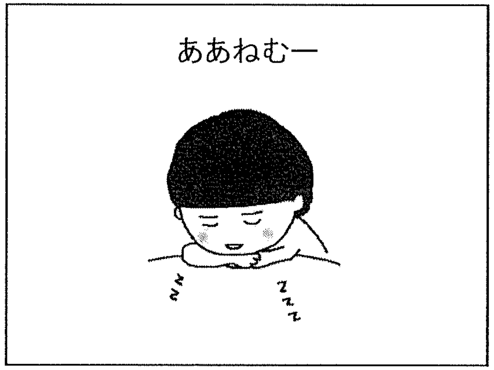
会社法の要点

1. 利用者の視点に立った規律の見直し
2. 会社経営の機動性・柔軟性の向上
3. 会社経営の健全性の合理化
   - ①株主代表訴訟制度の合理化
   - ②内部統制システムの構築の義務化
   - ③会計参与制度の創設
   - ④会計監査人の任意設置の範囲拡大
4. その他

(法務省民事局より引用)

法化社会の出現

司法判断の変化



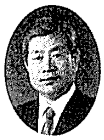
詳細⑥：平成２０年度土木学会功績賞、RPI 理事長受賞コメント

平成20年度土木学会賞紹介

功績賞

技術賞に該当するような業績または論文賞に該当するような論文発表等の積重ねによって、土木事業の発達や土木工学の進歩に著しく貢献したと認められた者、あるいは土木学会の運営に寄与し、学会の声価を高め、その興隆に著しい貢献をなしたと認められた者

渡邊英一（わたなべえいいち）



生年月日：昭和17年3月28日
現　　職：(財)大阪地域計画研究所　理事長

今回の土木学会功績賞の受賞は身に余る光栄である。土木の分野に進んで本当に幸せであったと感じている。この受賞は私の周りで私を常日頃より励まし、支援して下さった恩師、多くの諸先輩、友人、後輩、卒業生そして家族のお陰と感謝感激である。また、この賞の選考にあたり、推薦の労を惜しまれなかった方々や審査に携わった方々の暖かいご理解を頂けたのはまさに幸運に尽きる。

また、受賞した当日中村英夫先生から「貴方のような年代の人が功績賞を受賞する時代になったのだなあ」とお祝いの言葉を頂いたが、実は70歳まで3年弱しか余していない。良い歳をした爺となったのである。

私は40年以上前に留学した米国Iowa State University (ISU) から昨年10月のホームカミングデーにProfessional Achievement Citation in Engineering (PACE) Awardなるものを全学の表彰式にて受賞した。これを和訳するとやはり功績賞に近いものだろうと思う。昭和41年に京大から修士号を頂いた後、ISUに留学が許されたのであるが、指導教授に何処の大学の修士を取ったのかと聞かれた。京都大学？そんな大学聞いたことがないと言われ、もう一度修士を取り直せと言うことになった。ISUにて修士を取った後Ph.D.をも頂いたが帰国後十数年経った後、京大においてもう一度博士を取り直せということになった。

現在縁あって大阪府の橋下徹知事が所管の財団法人に所属しているが目下の関心事の一つが人間の世界と同じように、社会基盤の高齢化が加速度的に進行していることである。新規の建設プロジェクトが激減し、今後は維持・管理そして更新の事業が土木に残された最重要課題と認識している。この課題は極めて地味ではあるが将来に亘ってどのように上手く事業化し、世の中を活性化するかを皆でよく考えねばならない。

略　歴：

昭和39年 3月	京都大学工学部土木工学科卒業
昭和41年 3月	京都大学大学院工学研究科修士課程土木工学専攻修了
昭和43年 2月	米国アイオワ州立大学大学院工学研究科修士課程修了
昭和44年11月	米国アイオワ州立大学大学院工学研究科博士課程修了
昭和45年 1月	京都大学工学部 助手
昭和45年 4月	京都大学工学部 助教授
昭和62年10月	京都大学工学部 教授
平成 8年 4月	京都大学大学院工学研究科 教授
平成14年	ヨーロッパ科学アカデミー会員
平成14年	日本学術会議特任連携会員
平成17年 4月	京都大学大学 名誉教授
平成17年 6月	(財)大阪地域計画研究所 理事長、現在に至る
平成18年 1月	国立シンガポール大学客員教授（同年3月まで）
平成18年	IABMAS Senior Prize　受賞
平成19年 6月	(株)ハルテック監査役（社外）
平成20年10月	アイオワ州立大学よりProfessional Achievement Citation in Engineering (PACE) Award受賞

土木学会活動歴：

昭和45年 3月	入会
平成 6年	フェロー
昭和58～59年度	関西支部 商議員
平成 5～ 6年度	理事・関西支部 幹事長
平成 6～ 7年	構造工学委員会 委員長
平成10～11年度	評議員
平成10～18年	鋼構造委員会 浮体橋の研究小委員会 委員長
平成14年	土木学会論文賞（構造工学分野）
平成15～20年	構造工学委員会 沿岸環境における鋼・複合構造物の防食および耐久性評価に関する研究小委員会 委員長
平成16年度	理事・副会長
平成18年度	構造工学シンポジウム論文賞（土木部門）受賞
平成19年度	構造工学シンポジウム論文賞（土木部門）受賞
平成18～19年	関西支部創立80周年記念実行委員会 顧問・委員

詳細⑦：第４回社会インフラの構造モニタリングに関する国際会議

第４回社会インフラの構造モニタリングに関する国際会議

The 4th International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructures (ISHMII)

日時：２００９年７月２２-２４日
場所：スイス国チューリッヒ　スイス連邦工科大学

International Scientific Committee

COUNCIL OF ISHMII

Name	Institution
Chair	
Prof. Aftab A. Mufti	University of Manitoba
Co-Chairs	
Prof. Emin Aktan	Drexel University
Dr. Sreenivas Alampalli	New York State Department of Transportation
Dr. Sergio Alcocer	Instituto de Ingenieria, UNAM
Prof. Farhad Ansari	University of Illinois at Chicago
Dr. Ashutosh Bagchi	Concordia University
Dr. Baidar Bakht	JMBT Structures Research Inc.
Prof. Pradipta Banerji	IIT Bombay
Dr. Nemkumar Banthia	University of British

	Columbia
Prof. Konrad Bergmeister	University of Applied Science, Vienna
Dr. Luke Bisby	University of Edinburgh
Prof. James Brownjohn	University of Sheffield
Dr. Fritz Brunner	Graz University of Technology
Dr. Francisco Carrion-Viramontes	Instituto Mexicano del Transporte
Dr. Steve Chase	United States Federal Highway Aministration
Prof. Roger Cheng	University of Alberta
Prof. Alessandro De Stefano	Politecnico di Torino
Prof. Dan Frangopol	Lehigh University
Prof. Yozo Fujino	University of Tokyo
Prof. Hitoshi Furuta	Kansai University
Dr. Hamid Ghasemi	United States Federal Highway Administration
Dr. Wolfgang Habel	Federal Insitute for Research and Testing (BAM)
Dr. Andrew Horosko	Manitoba Department of Transportation & Government Services
Dr. Daniele Inaudi	SMARTEC
Prof. Vistasp Karbhari	University of Alabama in Huntsville
Prof. Jan-Ming Ko	The Hong Kong Polytechnic University
Prof. C.G. Koh	National University of Singapore
Prof. H.M. Koh	Seoul National University
Prof. Pierre Labossière	University of Sherbrooke

Prof. Urs Meier	Swiss Federal Laboratories for Materials Research (EMPA)
Dr. Alexis Mendez	MCH Engineering, LLC
Prof. Ayaho Miyamoto	Yamaguchi University
Prof. Masoud Motavalli	Swiss Federal Laboratories for Materials Research (EMPA)
Prof. John Newhook	Dalhousie University
Prof. Toshi Oshima	Kitami Institute
Prof. Jinping Ou	Harbin Institute of Technology
Prof. Werner Rücker	Federal Institute for Materials Research & Testing (BAM)
Mr.Walter Saltzberg	ISIS Canada Research Network
Prof. Tripp Shenton	University of Delaware
Dr. Charles Sikorsky	California Department of Transportation
Prof. Ian Smith	EPFL-Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne
Dr. Paul S. Sumitro	Smart Structures
Dr. Gamil Tadros	Speco Engineering Ltd.
Prof. Björn Täljsten	BYG-DTU
Dr. Doug Thomson	University of Manitoba
Dr. Asif S. Usmani	University of Edinburgh
Prof. Ming Wang	University of Illinois, Chicago
Dr. Helmut Wenzel	Vienna Consulting Engineers
Prof. Zhishen Wu	Ibaraki University

Attempt for Longevity of Bridges by Osaka Municipal Office

-For Better Preservation of Osaka Eight Hundred and Eight Bridges-

E. Watanabe[1], T. Yokota[2], Y. Komatsu[2] and H. Furuta[3]
[1]Professor Emeritus, Kyoto University, Kyoto, Japan and Chairman of Board of Directors of Regional Planning Institute, Osaka, Japan

[2]Osaka Municipal Office, Osaka, Japan

[3]Department of Informatics, Kansai University, Takatsuki, Japan

watanabe@rpi,or,jp

1-1. Present Status of Bridges

Dated on April 1, 2005, Osaka Municipal Government is taking care of totally 762 bridges with the total bridge area of 72.2 ha. Since Osaka City has been developed near the estuary of rivers such as River Yodo and River Yamato, the number of streams and moats is great and consequently citizens' life and the development of the city depend greatly on the bridges. From this reason, Osaka City has been called "City of Eight Hundred and Eight Bridges".
The City of Osaka is managing various bridges such as large-scaled, roadway, viaduct over railway, small but important living bridges. These bridges are supporting the social activities of citizens and some of them are landmark of the city.

1-2. Aging of Bridges

The majority of the Osaka City Bridges were built during the First City Planning Stage in the early Showa era and during the World Exposition of Osaka, 70 and 35 years ago, respectively.

Particularly, in the coming 30 years about 100 bridges will be over the age of 100 years and the demand for the replacement of these bridges becomes stronger and thus the soaring cost for the maintenance or the replacement is concerned about.
On the other hand, the budget for such cost is approximately decreasing to 40% of the maximum in the past. Thus, it is ever becoming difficult to maintain bridges in the traditional method of replacing old bridges with new ones.

1-3. Longevity by Preventive Bridge Maintenance

With these as the background, care should be taken in such a way that the maintenance of bridges and the management of road network should be carried out without concentration of renewal of bridges within a short period of time. For this purpose, the preventive maintenance is much desirable than the essential maintenance which corresponds to the maintenance at the time when the damage becomes severe and costly.

1-4. Attempt of Implementation of Planned Preventive Maintenance

Thus preventive maintenance is necessary for the longevity of bridges. For this purpose, the deterioration process, the future condition state of bridges must be precisely predicted. Nowadays, such prediction is considered to be possible thanks to the development of computer technology and accumulation of database of bridge damages. Osaka Municipal Office has started to operate the Bridge Maintenance System (OBMS) since 2005. OBMS executes the inspection periodically and based on the result, the optimum planning for the bridge maintenance is supported.
Osaka Municipal Office is planning to establish the system for inspection data acquisition for accurate operation of OBMS and establish the Maintenance Principle for Longevity of Bridges.

According to a trial calculation, the total budget in coming 30 years can be reduced from JY 210 billion to JY 110 billion (average annual budget from JY 7 billion to 3.7 billion) if the preventive maintenance is executed on 100 bridges built before Second World War with limited only 15 bridges renewal as compared with every 100 bridge renewal.

Table 1. Example of Calculation for Maintenance and Renewal of Bridges

Case	No. of Renewal Bridges among 100 Old Bridges in coming 30 years	Average Repair Cost in JY Billion/Year	Average Renewal Cost in JY Billion/Year	Average Total Cost Cost in JY Billion/Year
Case 1	100/100	2	5	7
Case 2	15/100	2.2 (+0.2)	1.5 (-3.5)	3.7 (-3.3)

The Development of Practical Asset Management System for the Hanshin Expressway Network

Y. Sakai[1], T. Arakawa[2], Y. Inoue[3], H.Furuta[4] , and K.Kobayashi[5]

[1]Hanshin Expressway Company Limited, Osaka, Japan
[2]Hanshin Expressway Management Technology Center, Osaka, Japan
[3]Chuo Fukken Consultants Limited, Osaka, Japan
[4]Kansai University, Osaka, Japan
[5]Kyoto University, Kyoto, Japan

論文発表

詳細⑧：関西大学先端科学技術推進機構研究部門別発表会

関大ORDIST

関西大学先端科学技術推進機構 研究部門別発表会(第13回)

先端科学技術推進機構では、見える研究成果の発信の機会を増やし、研究の活性化と融合・展開を図り、 社会や産業界とのダイナミックな連携を目指しています。研究部門は、新物質・機能素子・生産技術(N)研究部門、 情報・通信・電子(I)研究部門、生命・人間・ロボティクス(B)研究部門、環境・エネルギー・社会(E)研究部門の4部門で構成されており、それぞれの研究分野での研究が進められています。

主催:関西大学先端科学技術推進機構
共催:関西大学産学官連携センター
後援:関西大学科学技術振興会

環境・エネルギー・社会(E)研究部門

「今後の橋梁の維持管理を考える」

日　　時 ： 2009年8月10日(月)13:00～17:00
開催場所 ： 関西大学 心斎橋オフィス
司会進行 関西大学 環境都市工学部 准教授 鶴田 浩章

13:00 –13:05 研究部門別発表会に期待すること
環境・エネルギー・社会(E)研究部門長 橋寺 知子
13:05 –14:05 講 演:『今後の橋梁の維持管理を考える』
株式会社BMC (Bridge Management Consultant) 阿部 允
14:05 –15:05 講 演:『道路施設維持管理業務の民間委託(海外事例紹介)』
財団法人 大阪地域計画研究所 理事 金氏 眞
15:05 –15:15 休 憩
15:15 –16:55 パネルディスカッション
司会 ： 関西大学 総合情報学部 教授 古田 均
財団法人 大阪地域計画研究所 理事 金氏 眞
株式会社BMC (Bridge Management Consultant) 阿部 允
ショーボンド建設株式会社 亀井 正博
大阪市立大学工学研究科 都市系専攻 教授 山口 隆司
16:55 –17:00 閉会挨拶

(2009-7)

【研究発表会 お申込み先・お問合せ先】 関西大学先端科学技術推進機構
〒564-8680 大阪府吹田市山手町３－３－３５
TEL：06-6368-1178 FAX：06-6368-0080 E-Mail: sentan@jm.kansai-u.ac.jp

詳細⑨：構造物の維持補修技術研究会（RAMS）講演会

平成２１年　７月２９日

構造物の維持補修技術研究会
会　員　各　位

構造物の維持補修技術研究会（ＲＡＭＳ）
会 長　　高山　茂

構造物の維持補修技術研究会（ＲＡＭＳ）
平成２０年度　第２回定例講演会開催ご案内

拝啓　時下益々ご清栄のことと心よりお喜び申しあげます。
さて，平成２０年度の第２回定例講演会を下記日程により開催いたします。ご多忙中のこととは存じますが，是非ご出席下さいますようお願い申しあげます。

敬　具

記

日　　時　　　平 成２１年　8月 ２１日（金）
場　　所　　　広島工業大学　広島校舎
広島市中区中島町5-7（TEL 082-249-1251）

プログラム
平成２０年度・第２回定例講演会
13:30～13:40　高山会長あいさつ
13:45～15:15　「大阪市における橋梁資産の長寿命化および更新に向けての新しい試み」
（財）大阪地域計画研究所　　　渡邊　英一　理事長
15:30～17:00　「より個性的で魅力ある都市をめざして」
ー広島市の活性化の取組ー
広島市都市活性化局　　　　片平　靖　　局長
18:00～　　　　交流会（詳細未定）

追記

① 講演会には，会員以外の方の参加も歓迎いたしますので，興味をお持ちの方がおられましたら，是非お誘いください。
② RAMSでは，（社）土木学会の継続教育（CPD）プログラムへの認可講演会としての取り扱いとなっております。
③ **講演会**の出欠は別紙連絡用紙にてＦＡＸもしくはE-mailで、**8月7日（金）に必着**するよう，なるべく各社まとめて事務局までご連絡下さい。
④ 交流会の詳細が決まりましたら、別途、連絡いたします

事務局：復建調査設計㈱
〒732-0052
広島市東区光町 2-10-11
構造技術部　山本　浩一，渡邉　恭史
TEL 082-506-1855　FAX 082-506-1897

第１０回構造物の安全性・信頼性に関する国際会議

古田　均：「第１０回構造物の安全性・信頼性に関する国際会議」の議長
Chair of 10th International Conference on Structural Safety and Reliability
構造物の安全性・信頼性に関する国際連合会長
President of International Association for Structural Safety and Reliability

Welcome Message

In recent years, safety, reliability and risk analysis and management have become emergent and key issues due to the frequent occurrence of natural and man-made disasters such as strong earthquakes, huge hurricanes, tsunamis, terrorist attacks, airplane and nuclear power plant accidents, etc. In the past three decades, ICOSSAR (International Conference on Structural Safety and Reliability) has provided a valuable opportunity to share the knowledge, experience and information on structural safety and reliability among scientists and engineers. Following the past two ICOSSARs in Japan, Kobe in 1985 and Kyoto in 1997, the ICOSSAR2009 will be held in Osaka. As I mentioned in Rome, there are three big cities in Kansai area, namely, Kobe, Kyoto and Osaka. Osaka is the second biggest city in Japan and the center of commerce and industry. All people who are interested in the safety and reliability issues are cordially invited to ICOSSAR2009, which will be held in the main campus (Senriyama Campus) of Kansai University, September 13 -17, 2009. The Japanese group will warmly welcome all of you and wish you a pleasant stay and enjoy the special culture and atmosphere in Osaka. May, 2007

Hitoshi Furuta (Conference Chairman)

International Scientific Committee

E. Watanabe, Kyoto University, Kyoto, Japan
H. Furuta, Kansai University, Osaka, Japan (Ex-Officio)
M. Kawatani, Kobe University, Kobe, Japan

Local Organizing Committee

M. Sakano (Kansai University) Vice-Chair
T. Yamaguchi (Osaka City University)
K. Sugiura (Kyoto University)

論文発表

渡邊英一理事長　１編発表
古田　均　５編発表
川谷　充郎　８編発表

詳細は

http://www.sc.kutc.kansai-u.ac.jp/icossar2009/program/ICOSSAR20Program090910.pdf

Attempt for Expansion of Bridge Lives by Osaka Municipal Government

E. Watanabe

Chairperson of the Board of Directors of Regional Planning Institute in Japan, Osaka and Professor Emeritus, Kyoto University, Kyoto, Japan

T. Yokota & Y. Komatsu

Public Works Bureau, Osaka Municipal Government, Osaka, Japan

H. Furuta

Department of Informatics, Kansai University, Takatsuki, Japan

ABSTRACT: The Osaka Municipal Office has started to operate the Bridge Management System (OBMS) since 2005. OBMS executes the optimum planning for the preventive bridge maintenance through the periodical inspection, efficient data acquisition and the priority rule taking into the historic and civic importance. According to a trial calculation, the total budget in coming 30 years can be reduced from JY 210 billion to JY 110 billion (average annual budget from JY 7 billion to 3.7 billion) if the preventive maintenance is executed on the aforementioned 100 old bridges but with the renewal of only 15 bridges as compared with the renewal of every one of 100 old bridges.

1 PRESENT STATUS OF BRIDGES IN OSAKA CITY

Dated on April 1, 2005, Osaka Municipal Government is taking care of totally 763 bridges with the total bridge area of 72.2 ha (Yokota et al. 2008). Since Osaka City has been developed near the estuary of rivers such as River Yodo and River Yamato, the number of streams and moats is great and consequently citizens' life and the development of the city depend greatly on the bridges. From this reason, Osaka City has been called "Capital of Eight Hundred and Eight Bridges". Photo 1 shows a picture of Nakanoshima Sector of Osaka City with its City Hall at the center.

Photo 1. Osaka City. Nakanoshima Sector with Osaka City Hall at the center (Courtesy of Osaka Municipal Government)

The City of Osaka is managing various bridges such as large-scaled, roadway, viaduct over railway, small but important living bridges. These bridges are supporting the social activities of citizens and some of them are landmark of the city. Figures 1 and 2 show drawings of old wooden bridges at Dohtonbori and Ohkawa River, respectively. Furthermore, Figure 3 shows a map of Osaka in the Yedo Era.

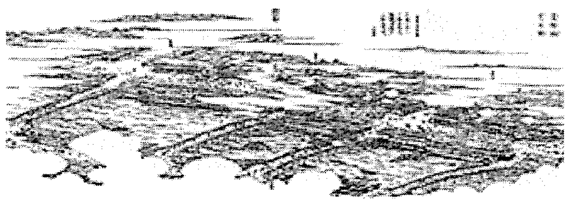
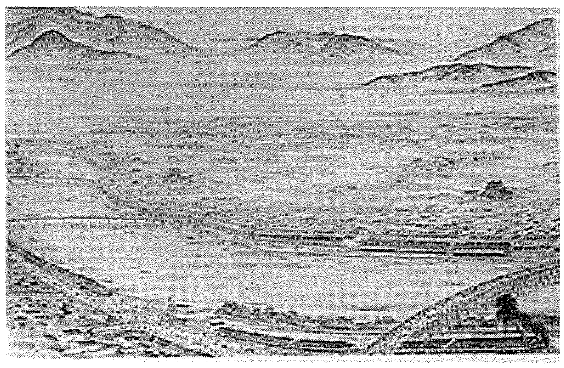


Figure 1. Dohtonbori Bridges of Osaka
(Courtesy of Osaka Municipal Government)



(Courtesy of Osaka City Museum)
Figure 2. Perspective of Ohkawa in the Yedo Era

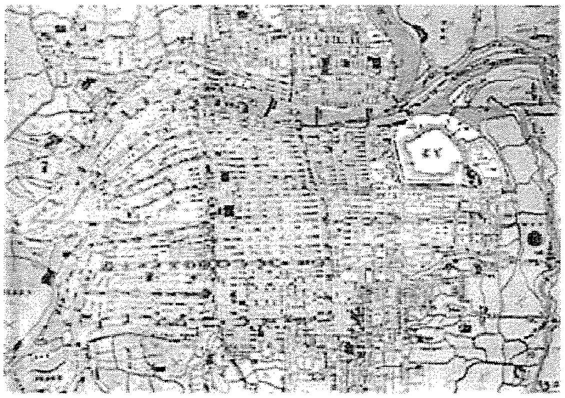


Figure 3. A map of Osaka in the Yedo Era. (1863)
(http://www.osakaudce.or.jp/bridge/chap1/index1.htm)

With the advent of the introduction of western civilization, bridges started to take the form of permanent bridges rather than traditional wooden bridges. Figure 4 and Photo 2 show a colored woodcut drawing of the Shinsaibashi Bridge and a photograph of the Korai Bridge, respectively. The former bridge was imported from Germany and built over the Nagahori River. It is of the bow-string type and has been preserved in Tsurumi Ryokuchi Park, Osaka for commemoration. The latter was imported from England. The iron railings, girders and piers, lantern with stained glasses, ladies with western style clothes looked fashionable to Osaka people.

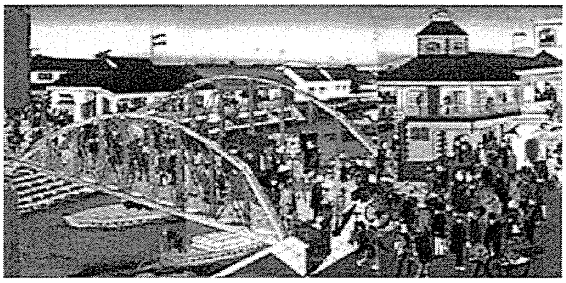


Figure 4. Shinsaibashi Bridge at its opening in 1873
(http://www.osakaudce.or.jp/bridge/chap1/index1.htm)

Photo 2. Korai Bridge 1870
(http://www.osakaudce.or.jp/bridge/chap1/index1.htm)

Furthermore, Photos 2 and 3 show some of the existing historical Bridges: Naniwa-Bridge and Hommachi Bridge, respectively.

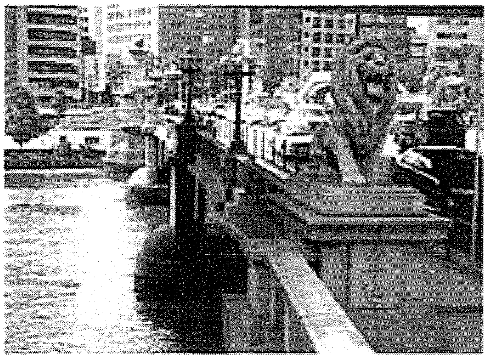


Photo 2. Naniwa Bridge

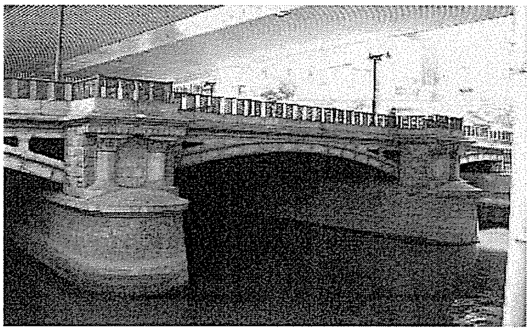


Photo 3. Hommachi Bridge (oldest in Osaka)

It is quite interesting to know that even more than 130 years ago, bridge engineers were so aggressive as to introduce movable bridges. Figures 5 and 6 show Chiyozaki Bridge and Ajikawa Bridge, respectively. Moreover, this fact shows a fact that the City of Osaka has developed together with the waterway.

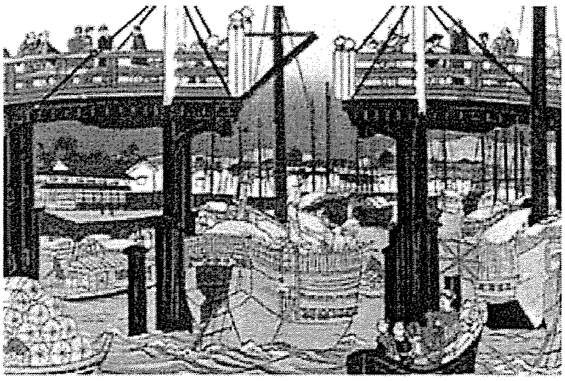


Figure 5. Chiyozaki Bridge of "bascule" type (1872)
(Courtesy of Kobe City Museum & Osaka Municipal Government)

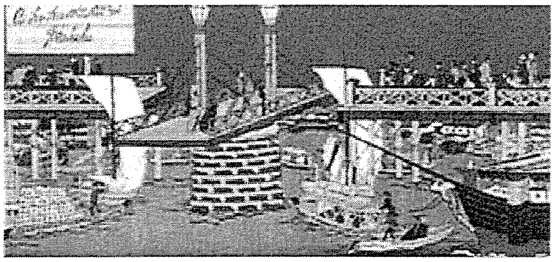


Figure 6. Ajikawa Bridge of "swing" type (1873) (Courtesy of Kobe City Museum & Osaka Municipal Government)

: Chiyozaki Bridge was built over the Kizu River. The central span, total of 7 spans, has a wooden bascule (opening up) with the movable length of 2 m; while Ajikawa Bridge is of the swing type. Both the girder and railings were made of iron and imported from Europe. The swinging part is 16 m long. Unfortunately, both the Chiyozaki Bridge and the Ajigawa Bridge were swept away during the big flood of 1885. The outflow of floating bodies was trapped by the bridge girder of Ajigawa Bridge resulting in the overflow of water to the urban districts nearby. Finally, the Corps of Engineers had to demolish this bridge with explosives. This terminated the short life of the movable bridge (JASBC 2004).

2 AGING OF BRIDGES

The majority of the Osaka City Bridges were built during the First City Planning Stage in the early Showa Era and during the World Exposition of Osaka, 70 and 35 years ago, respectively. Particularly, in the coming 30 years about 100 bridges will be over the age of 100 years and the demand for the replacement of these bridges becomes stronger and thus the soaring cost for the maintenance or the replacement is concerned about. Figure 7 shows the ratio of bridges over the age of 50 at the present time and in 20 years from now.

Figures 8 and 9 show the distribution of the bridge age in terms of the number and the bridge surface area, respectively. Thus, it is ever becoming difficult to maintain bridges in the traditional method of replacing old bridges with new ones.

On the other hand, the budget for such cost is approximately decreasing to 40% of the maximum in the past as shown in Figure 10. Thus, it is ever becoming difficult to maintain bridges in the traditional method of replacing old bridges with new ones.

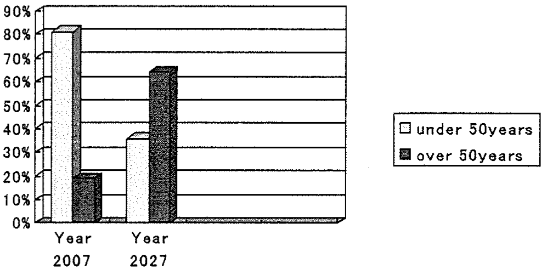


Figure 7. Ratio of bridges in Osaka City under and over 50 years.

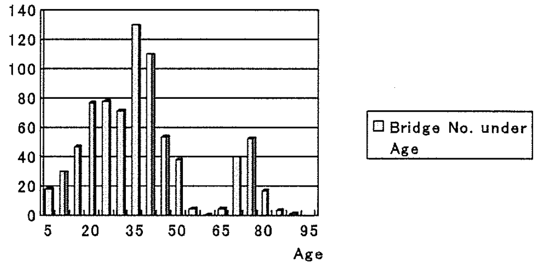


Figure 8. Distribution of age of Osaka City bridges in terms of the bridge number.

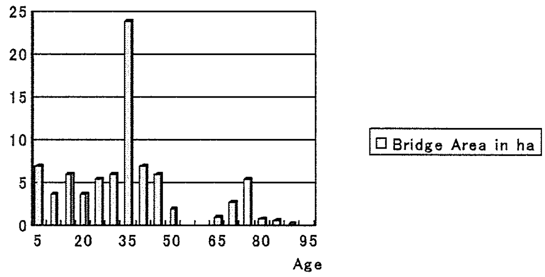


Figure 9. Distribution of age of Osaka City Bridges in terms of bridge surface.

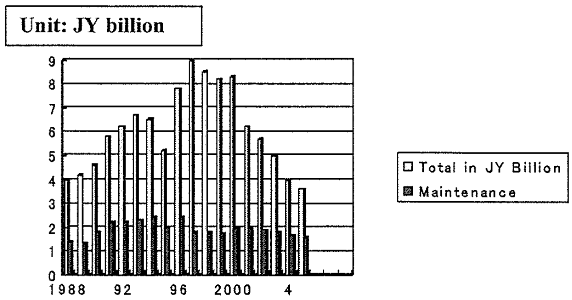


Figure 10. Change of Budget for Bridges of Osaka City.

3 LONGEVITY BY PREVENTIVE BRIDGE MAINTENANCE

With these as the background, care should be taken in such a way that the maintenance of bridges and the management of road network should be carried out without concentration of renewal of bridges within a short period of time. For this purpose, the preventive maintenance is much desirable than the essential maintenance which corresponds to the maintenance at a concentrated time period when the damage becomes severe and costly. The City of Osaka started to develop a bridge management system and the system started to be used from 2007 based on the preventive management concept. The system developed here is referred to as OBMS.

4 ATTEMPT FOR IMPLEMENTATION OF SCHEDULED PREVENTIVE MAINTENANCE

Thus preventive maintenance is necessary for the longevity of bridges. For this purpose, the deterioration process, the future condition state of bridges must be precisely predicted. Nowadays, such prediction is considered to be possible thanks to the development of computer technology and accumulation of database of bridge damages. Osaka Municipal Office has started to operate the Bridge Maintenance System (OBMS) since 2005. OBMS executes the inspection periodically and based on the result, the optimum planning for the bridge maintenance is supported.

The management cycle for the bridge stock can be summarized by Figure 11.

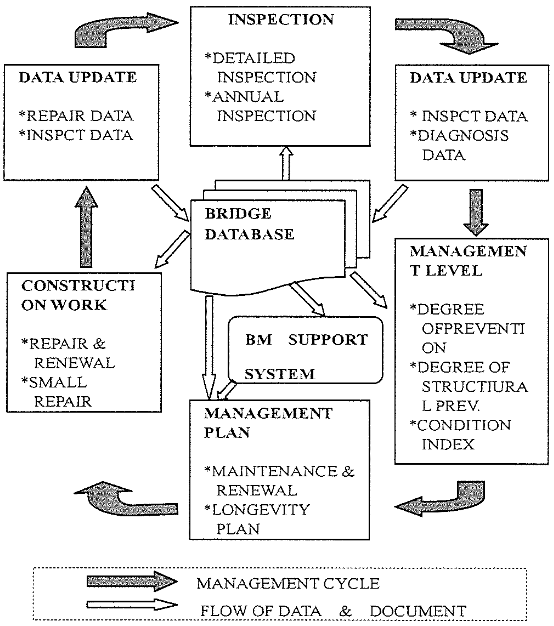


Figure 11. PDCA Flowchart of OBMS

This PDCA flowchart clarifies various bridge management tasks such as the inspection, diagnosis, updating of input data, assessment of the management level, execution of management plan and execution of construction work. This helps the Osaka Municipal Government in the clarification of the administrative organization, getting used to the procedure, particularly, understanding the inspection data and promoting the consciousness of the administrators on the importance of updating the database.

Moreover, Osaka Municipal Office is planning to establish the system for inspection data acquisition for accurate operation of OBMS and establish the Maintenance Principle for Longevity of Bridges.

According to a trial calculation, as shown by Figure 12 and Table 1, the total expenditure to bridges in coming 30 years can be reduced from JY 210 billion to JY 110 billion (average annual budget from JY 7 billion to 3.7 billion) if the preventive maintenance is executed on 100 old bridges built before Second World War with limited only 15 old bridges renewal as compared with every 100 old bridge renewal.

Table 1. Example of calculation for maintenance and renewal of bridges

Case	No. of Renewal Bridges/ 100 old Bridges	Average Annual Repair Cost in JY Billion	Average Annual Renewal Cost in JY Billion	Average Annual Total Cost in JY Billion
1	100/100	2	5	7
2	15/100	2.2 (+0.2)	1.5 (-3.5)	3.7 (-3.3)

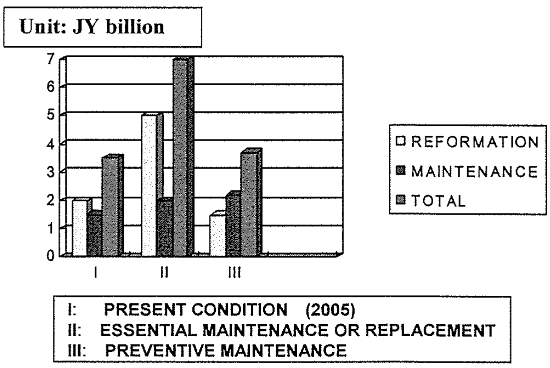


Figure 12. Expected annual reduction of bridge expenditure by introducing the preventive maintenance in JY billion.

5 REPLACEMENT OF OLD BRIDGES

5.1 *Evaluation method*

It is a general practice to decide the maintenance plan based on the field inspection data and the health assessment of bridge taking into account the deterioration rate of the bridges.

However, in view of the fact that the old bridges built before the Second World War were designed using different codes from now with respect to loads, earthquake-resistant design and river conditions and do not correspond to the present design codes. Thus, the judgment on the bridge replacement only on the basis of the bridge health assessment may lead to wrong decisions.

From this standpoint, the final decision was proposed by adding the functionality in addition to the health assessment as explained in the following.

5.2 *Health assessment (by bridge inspections)*

Figure 13 shows the assessment of bridge health. It is based on the detailed inspection by the naked eyes and the non-destructive test and the future deterioration prediction. The detailed inspection is to check the damage of structural members and to evaluate the structural health of each bridge.

The non-destructive check will be carried out simultaneously with the detailed inspection. This aims at increasing the accuracy the inspection and supplement with quantitative checks which can not be observed only by the naked eyes such as the check of the depth of carbonation, the content of salinity and the strength of concrete.

For the health assessment, the conditional indices proposed by the National Institute for Land and Infrastructure Management, NILIM are introduced as a pilot test.

DETAILED INSPECTION

NON-DESTRUCTIVE CHECK

→

ASSESSMENT BY BRIDGE INSPECTION

I ....NO DAMAGES
II...SLIGHT DAMAGE
III.. DAMAGE IS NOT SMALL
IV...DAMAGE IS SIGNIFICANT (*)

● Note: This is the case when any problem is found to exist such as in the strength of concrete and carbonation in the slabs, bridge piers and abutments.

Figure 13. Assessment of bridge health

5.3 *Functionality (by structural proof)*

The functionality assessment is to assess if the load-carrying capacity, earthquake-resistance and the river condition properly match the present required standards as shown in Figure 14. Photo 4 shows an example of "significant deficiency".

LOAD-CARRYING CAPACITY

EARTHQUAKE-RESISTANCE

COMPATIBILITY WITH RIVER CONDITIONS

→

ASSESSMENT ON STRUCTURAL FUNCTIONALITY

I ....NO DEFICIENCY
II...PARTIAL DEFICIENCY
III.. DEFICIENCY IS NOT SMALL
IV...DEFICIENCY IS SIGNIFICANT (*)

(*) Raise (in case of steel pile-support); Masonry Abutment; Liquefaction; Extremely small clearance; Bad Road Alignment

Figure 14. Assessment of Functionality

5.4 *Replacement judgment matrix*

Since the health assessment by bridge inspection and structural proof by functionality are quite difficult to be carried out independently, both are combined into classification of (i) longevity bridges by means of preventive bridge maintenance and (ii) bridges to be replaced. Figure 15 shows the replacement judgment matrix where the replacement of bridges is not recommended at the bottom and left parts but recommended at the upper and right parts.

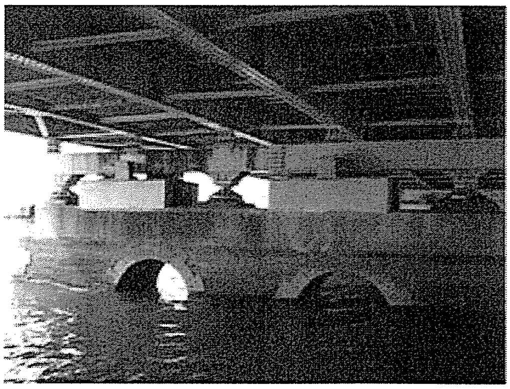


Photo 4. Raising bridge floor bottom by a steel beam. The bridge has been subjected to gradual settlement and vulnerable to raising sea surface.

5.5 *Extracts of bridges for replacement*

From the judgment through the matrix shown above, it became apparent that there exist such bridges which do not satisfy the present codes even though the health looks satisfactorily good. For example, there exist masonry abutments which rest on the liquefying foundation and hence earthquake-resistance is questionable. Also there exist bridges where bridge floors had to be raised since the girders are frequently submerged at the time of flooding.

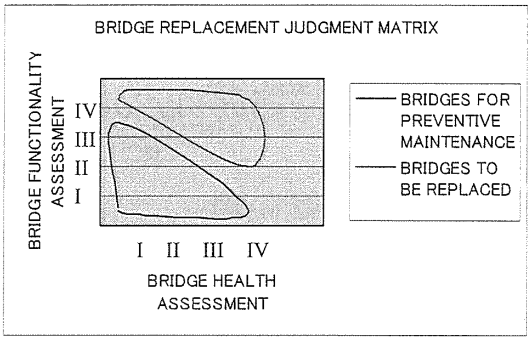


Figure 15. Judgment matrix for bridge replacement.

These bridges are thought to be subject to further considerations for replacement.

On the other hand, even old bridges may be thought to be sufficiently in good health if they were reliably well constructed. These facts show that only the naked eye inspections are not enough but should be assessed individually in good detail.

5.6 *Future tasks to be recommended*

It was made clear that bridges that can be well maintained by the repair and retrofitting should be managed for longer life and the number of those bridges that are judged to be renewed should be minimized. Thus, further discussions should be made for the final selection of bridges that are to be replaced. After the selection of these bridges to be replaced, their priority will be determined in the master replacement plan depending on their social effect and the cost performance.

6 REFLECTING CITIZEN'S VOICE IN BRIDGE ADMINISTRATION

There are so many bridges loved by the citizens of Osaka: those sharing the history together with the City, parts of the urban landscape, valuable in the history of technology.

The Municipal Office is going to extract the candidates for the highly valuable bridges. These bridges will be discussed in view of the following stand points:

a. Historically renowned
b. Contributed to the formation of urban landscape
c. Valuable as the cultural asset
d. Loved by Osaka citizens

For this purpose, the Osaka Municipal Government has asked the citizens by means of sending them the following questionnaire to identify:

(1) their favorite bridges and such reasoning
(2) the media to get access to the publicity for bridges: what kind of information they want and the degree of their satisfaction
(3) the opinions on the role of bridges, the degree of their familiarity of the bridge administrations, degree of satisfaction and the expectations for bridge projects, evaluations of project priorities and opinions about the renewal.

These opinions have been analyzed and are going to be reflected in the administration of bridge projects.

7 CONCLUSIONS

This paper explains the basic concepts regarding the project on the replacement of old and historic bridge. Thanks to the well-preserved drawings, documents of summary of works and records of works on the bridges built before the Second World War, the project has been promoted quite smoothly. Thus, the effort and tradition of the bridge engineers of the Osaka Municipal Office must be highly respected. The importance of the succession of the important documents and information to the next generations is becoming more and more important.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to take this opportunity to express their appreciation to the members of the Study Group on the Bridge Maintenance and Renewal of the Osaka Municipal Government, particularly to Professor/A M. Tanaka of Osaka Industrial University for their precious opinions and advice.

REFERENCES

City of Osaka Public Engineering Works Foundation. Bridges in Osaka City. - History of bridge technology in Osaka City - (in Japanese) http://www.osaka-udce.or.jp/bridge/chap1/index1.htm

Japan Association of Steel Bridge Construction, JASBC 2004. *Bridges in Japan -History of Iron and Steel Bridges-*, Asakura Book Store (in Japanese).

Public Works Bureau of Osaka Municipal Government (in Japanese) http://www.city.osaka.jp/kensetsu/shigoto/hashi/top.htm

Yokota, T., Komatsu, Y. and Nagahashi, S. 2008. Replacement plan of old bridges by Osaka Municipal Government. Bridge and Foundation Engineering, 42(8): 36-38 (in Japanese).

橋梁ファブリケータの立場から橋梁維持管理の事業性を考える

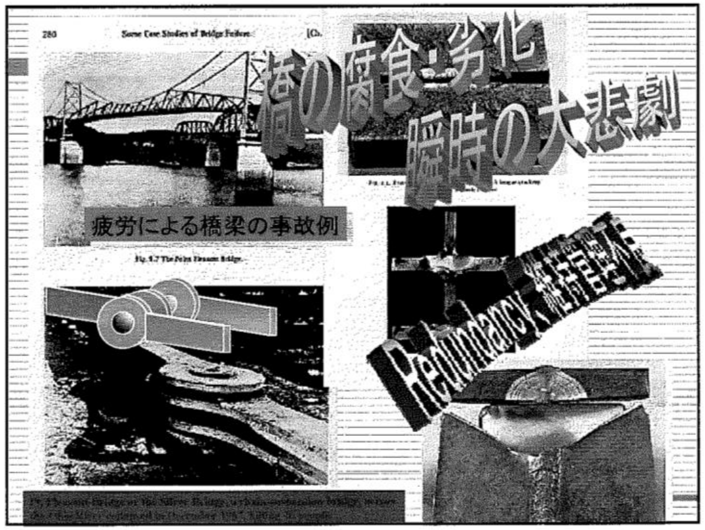
(株)駒井ハルテック　技術顧問
(財)大阪地域計画研究所　理事長
京都大学　名誉教授　渡邊英一

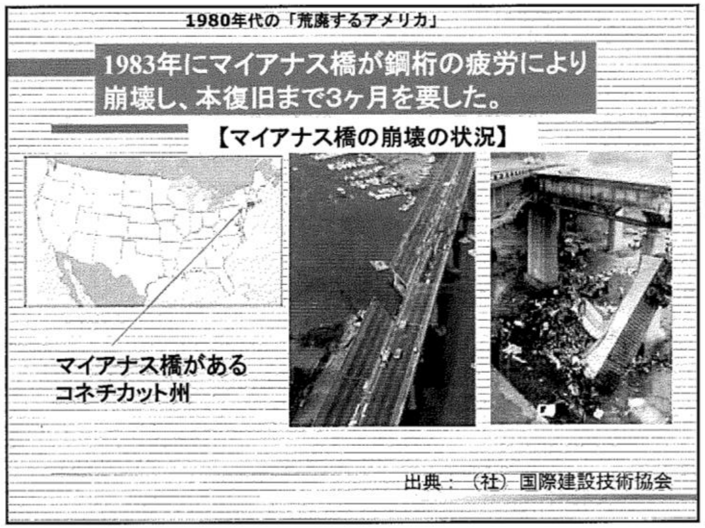
はじめに

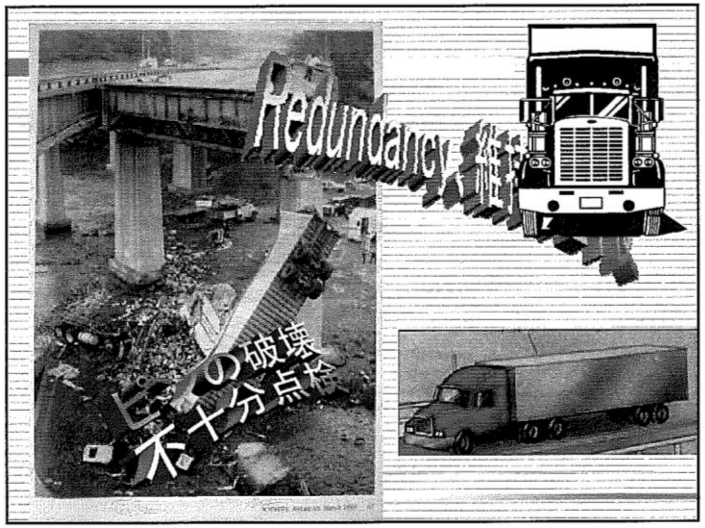
- 現在は少子高齢化が進み、汗を掻かなくても済む職業が好まれる時代.
- だから次世代の技術者の育成と伝統技術の継承は大問題となりつつある.
- また、建設の世界でも新設一途の状況が一変して、如何に既存構造物の維持・管理を行うかが最重要課題である.

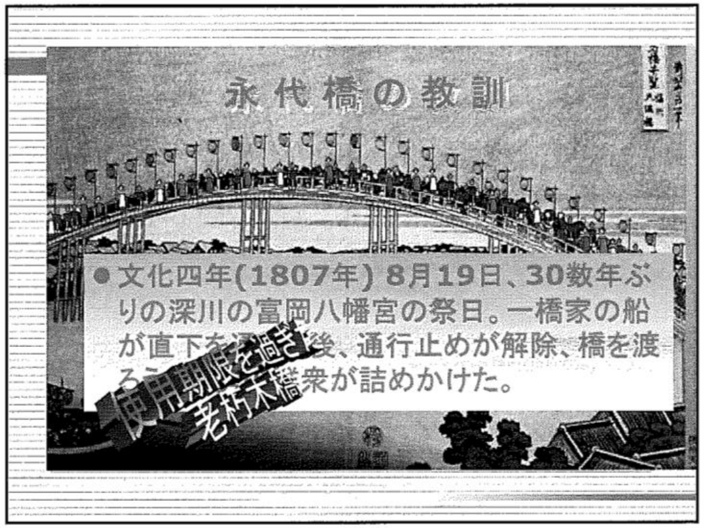
日経2005年11月4日

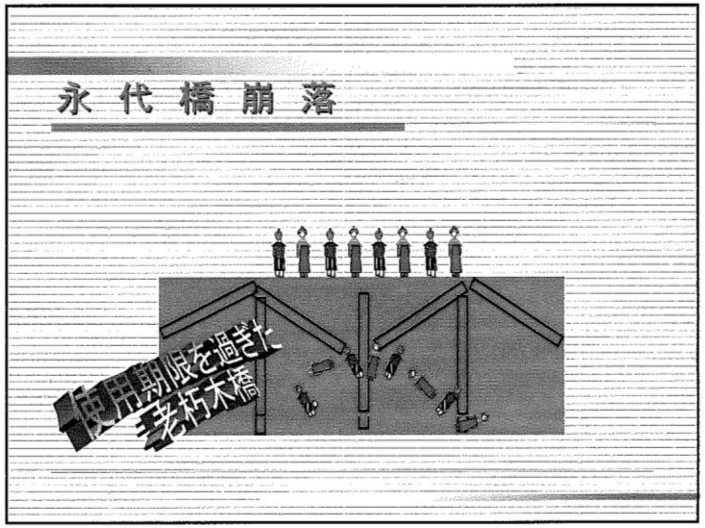

1980年代の「荒廃するメリカ」
1967年にシルバー橋が崩壊　46名死亡
橋梁の安全に全国的な関心が高まる
【シルバー橋の落橋を報じる当時の新聞記事と落橋後の様子】
BEAUTIFUL SILVER SUSPENSION BRIDGE IS SHAMBLES
1927年当時
1967年当時
Silver Bridge Crash Is National Disaster
出典：Fond-du-Lac Commonwealth Reporter
（1967年12月）
シルバー橋があるウエスト・ヴァージニア州
しかし、十分な予算が投入されなかった
出典：（社）国際建設技術協会

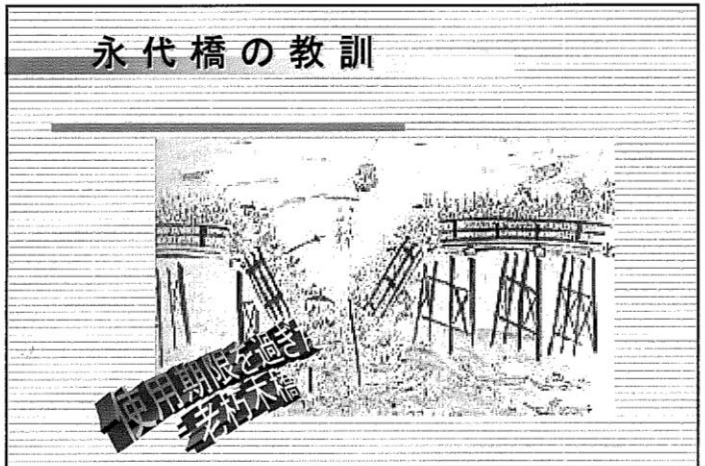

Some Case Studies of Bridge Failure
橋の腐食・劣化
瞬時の大悲劇
疲労による橋梁の事故例
Fig. 8.7 The Point Pleasant Bridge.
Redundancy


1980年代の「荒廃するアメリカ」
1983年にマイアナス橋が鋼桁の疲労により崩壊し、本復旧まで3ヶ月を要した。
【マイアナス橋の崩壊の状況】
マイアナス橋がある
コネチカット州
出典：（社）国際建設技術協会

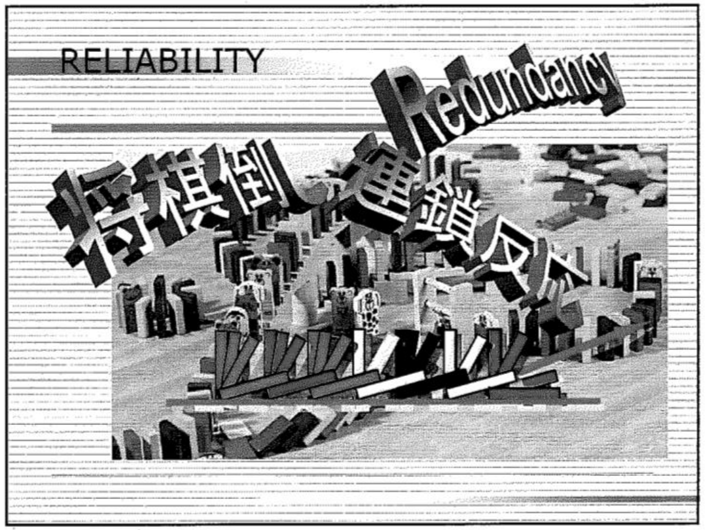

Redundancy
の破壊
不十分点検

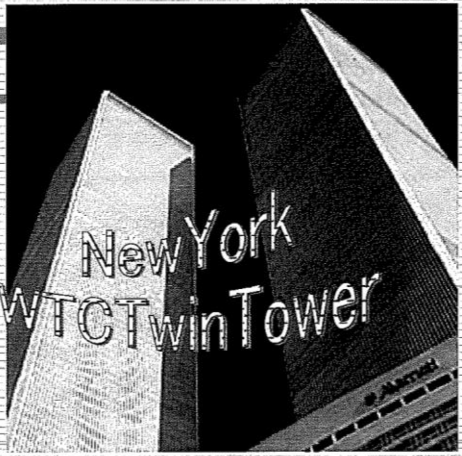


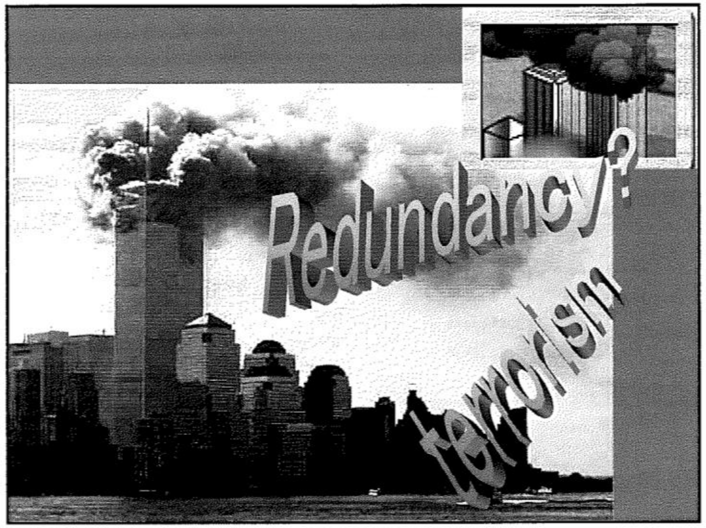




「永代橋崩壊図」(江戸東京博物館蔵)





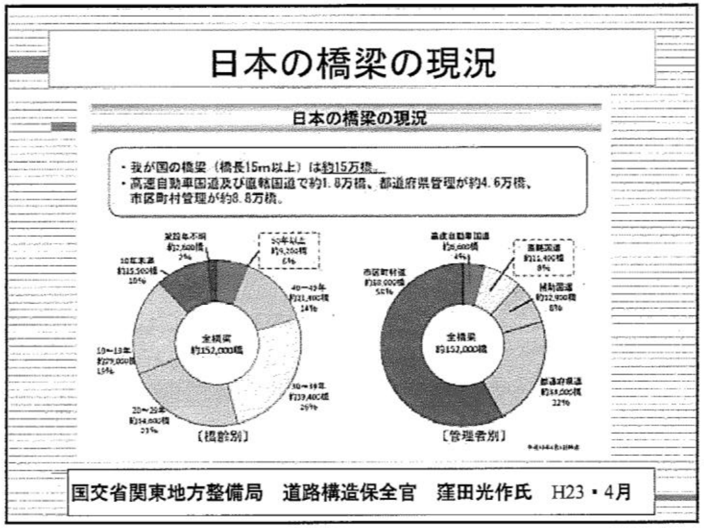


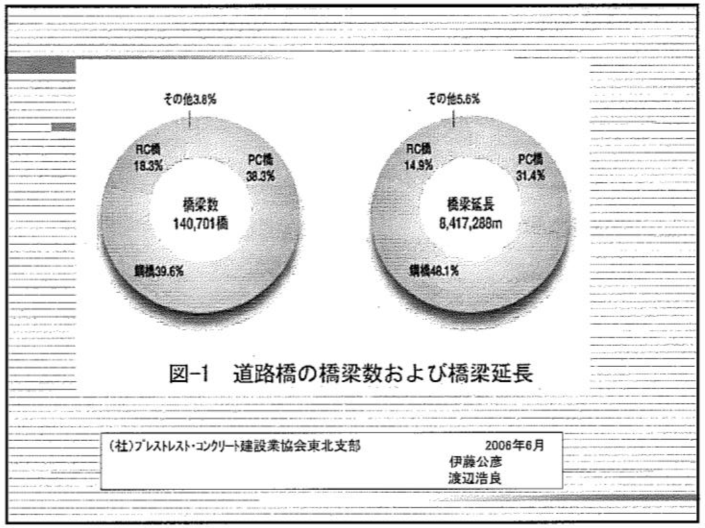
研究の社会的意義

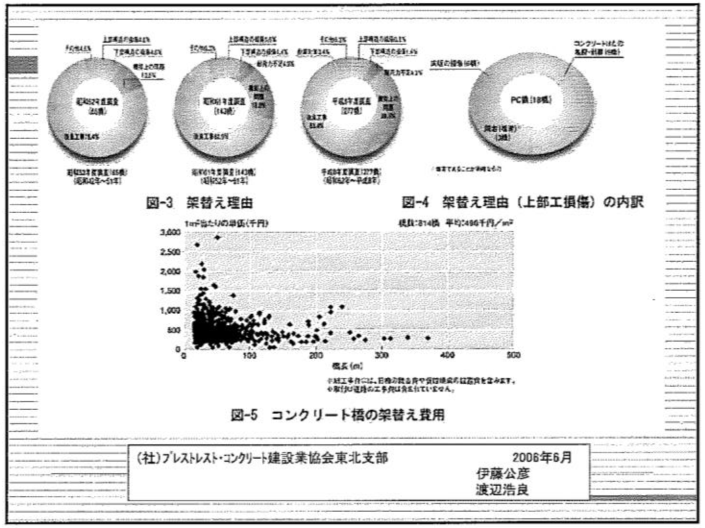
- 社会経済活動の高度化に伴い，生産・消費・廃棄の量的な規模が飛躍的に増大し，資源枯渇，環境破壊が進んでいる．
- 我が国の建設環境も，スクラップ&ビルドの時代からストック有効活用の時代へと大きく変わる必要があり，構造物の長寿命化・延命化は今後ますます重要な課題となっている．

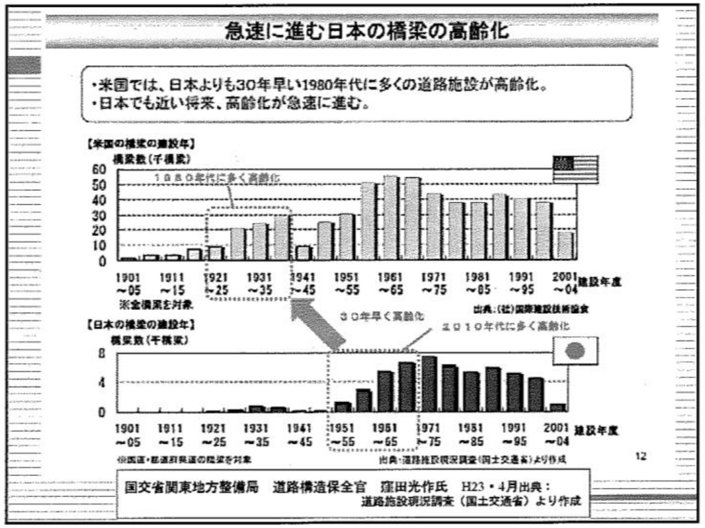
新設・維持管理・更新・災害復旧の長期予想

- 新規投資額は確実に減少→新造は2040年までに殆どなくなる(平成21年度　国土交通白書－国土交通省)？
- 更新投資は増大
- 維持管理投資も増大
- 社会資本ストックは確実に増大


日本の橋梁の現況
日本の橋梁の現況
・我が国の橋梁（橋長15m以上）は約15万橋。
・高速自動車国道及び直轄国道で約1.8万橋、都道府県管理が約4.6万橋、市区町村管理が約8.8万橋。
全橋梁
約152,000橋
〔橋齢別〕
〔管理者別〕
国交省関東地方整備局　道路構造保全官　窪田光作氏　H23・4月


その他3.8%
RC橋
18.3%
PC橋
38.3%
橋梁数
140,701橋
鋼橋39.6%
その他5.6%
RC橋
14.9%
PC橋
31.4%
橋梁延長
8,417,288m
鋼橋48.1%
図−1　道路橋の橋梁数および橋梁延長
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部
2006年6月
伊藤公彦
渡辺浩良

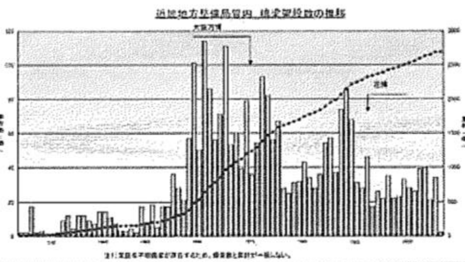

図−3　架替え理由
図−4　架替え理由（上部工損傷）の内訳
図−5　コンクリート橋の架替え費用
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部
2006年6月
伊藤公彦
渡辺浩良


急速に進む日本の橋梁の高齢化
・米国では、日本よりも30年早い1980年代に多くの道路施設が高齢化。
・日本でも近い将来、高齢化が急速に進む。
【米国の橋梁の建設年】
橋梁数（千橋梁）
１９８０年代に多く高齢化
※全橋梁を対象
出典：(社)国際建設技術協会
【日本の橋梁の建設年】
橋梁数（千橋梁）
３０年早く高齢化
２０１０年代に多く高齢化
建設年度
出典：道路施設現況調査(国土交通省)より作成
12
国交省関東地方整備局　道路構造保全官　窪田光作氏　H23・4月出典：
道路施設現況調査（国土交通省）より作成

近畿地方整備局　滋賀国道事務所　資料配布

平成22 年10 月26 日14時00分

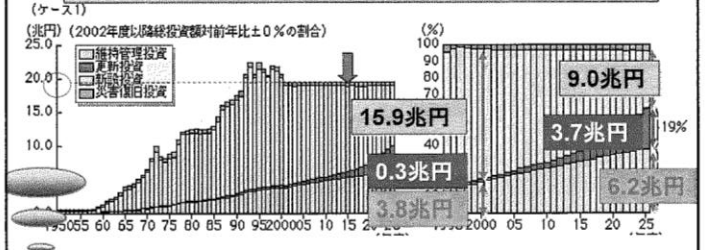
近畿地方整備局が管理する道路橋(3,630橋)のうち、全体の約3割にあたる約1,100橋が、1950年代半ばから1970年代初め頃にかけての高度経済成長期に建設。



今後総投資額が減少しない場合、2000年に3.8兆円の維持管理投資が2025年には6.2兆円に

更新投資は0.3兆円から3.7兆円へと増加し、

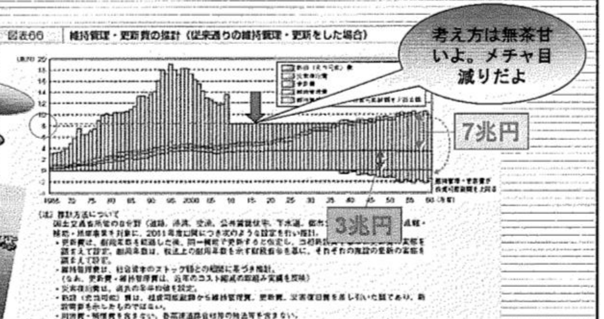
新規投資額は2000年の15.9兆円より9.0兆円にまで減少



維持管理・更新投資需要の推計3)

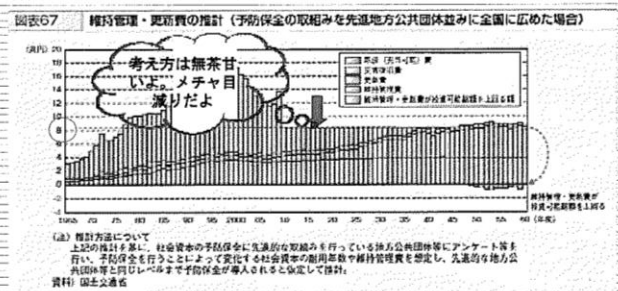
3) 国土交通白書 平成14年、国土交通省、
http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h14/H14/index.html

戦略的な維持・管理　(その1)
(アップデート版)平成21年度　国土交通白書 - 国土交通省



2037年度時点で投資可能総額を上回る。2011年度から2060年度までの50年間に必要な更新費は約190兆円と推計され、そのうち更新できないストック量が約30兆円と試算される。

戦略的な維持・管理　(その2)
(アップデート版)平成21年度　国土交通白書 - 国土交通省



資料2

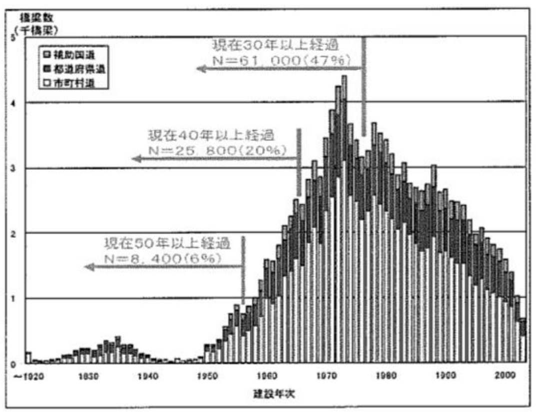
「荒廃する日本」としないための道路管理

～道路施設の急速な高齢化を踏まえ、今後の道路管理はどうあるべきか～

平成19年3月8日

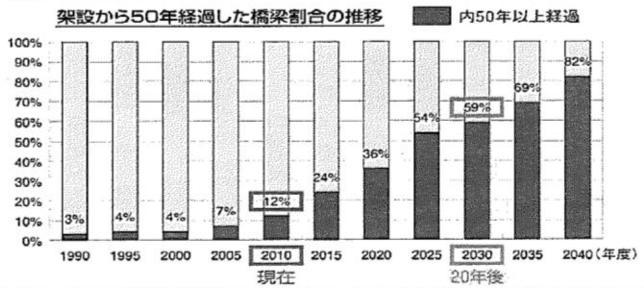
国土交通省道路局

【自治体管理道路における建設年度別橋梁数】



出典：道路施設現況調査「橋梁現況調査」H16. 4. 1

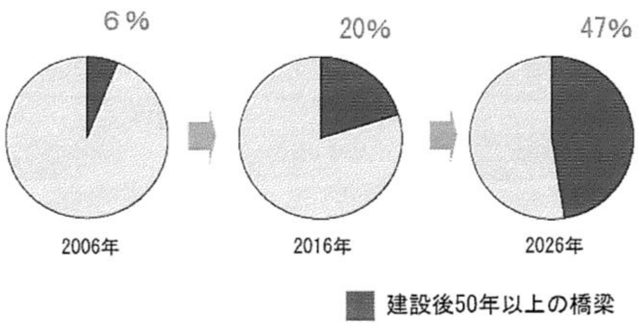
近畿地方の例



近畿地方整備局　滋賀国道事務所　資料配布

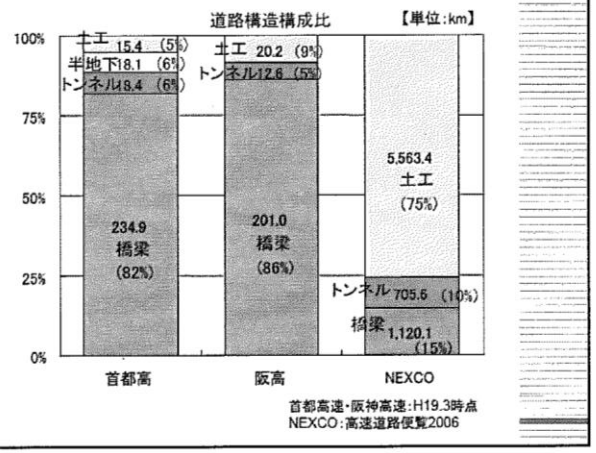
平成22 年10 月26 日14時00分

【建設後50年以上の橋梁数（一般道路）】



※対象：15m以上の橋梁　約14万橋

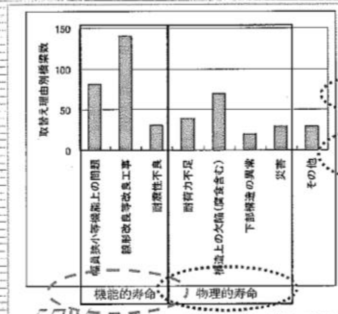
【道路構造別延長比率】

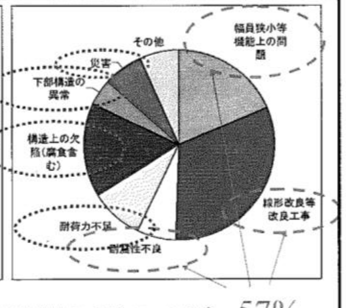


首都高速・阪神高速:H19.3時点
NEXCO:高速道路便覧2006

国総研資料 第 444 号
【資 料 名】橋梁の架替に関する調査結果(Ⅳ)
国土技術政策総合研究所 平成18年10月

■橋の取り替え理由の推移



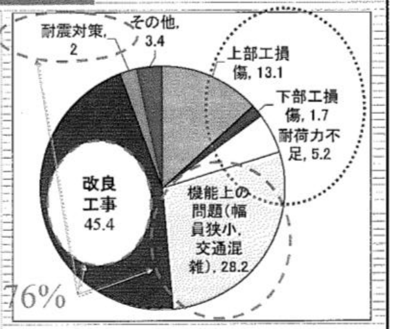


図−3 道路橋の架け替え理由別橋梁数内訳(昭和 52〜61 年)[3]

国総研資料 第 444 号
【資 料 名】橋梁の架替に関する調査結果(Ⅳ)
国土技術政策総合研究所 平成18年10月

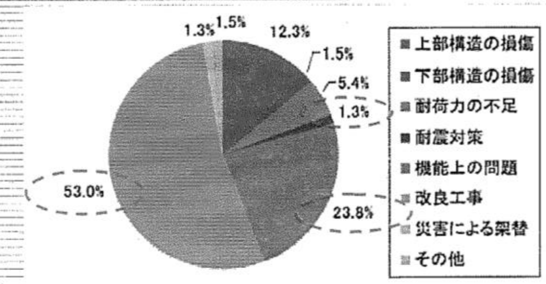
H８年での架け替え理由

- 損傷を受けて架け替えを行った橋梁は全体の1/5程度しかない.
- ほとんどが道路線形改良や河川改良工事、交通混雑の緩和のための幅員拡幅などの機能上問題により架け替えを実施
- 機能的寿命による架け替えの割合は昭和61年で57%, H8年で76%と増加している(10年間)



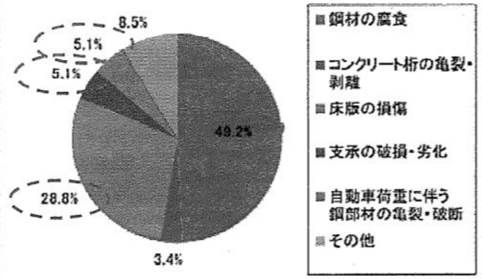
図−4 橋梁架け替えの理由(H8)[10]

(社)日本橋梁建設協会技術委員会幹事長
春 日 昭 氏



図−１ 架替理由内訳(平成18年度調査 鋼橋)

㈳日本橋梁建設協会技術委員会幹事長
春日　昭氏



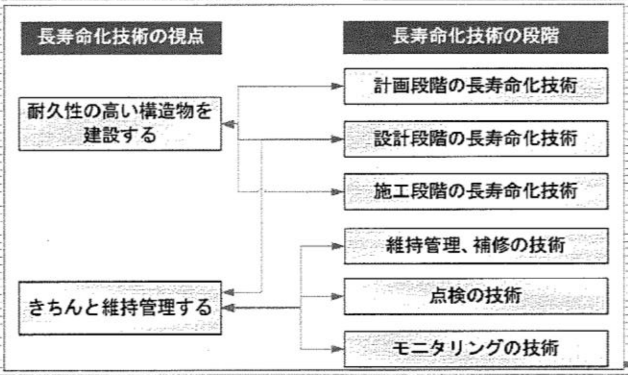
図－2　上部構造の損傷による架替理由の内訳（平成18年度調査 鋼橋）

● 橋梁ファブリケータは夫々工場を抱えており、工場の活性化の面でハードウェアは重要

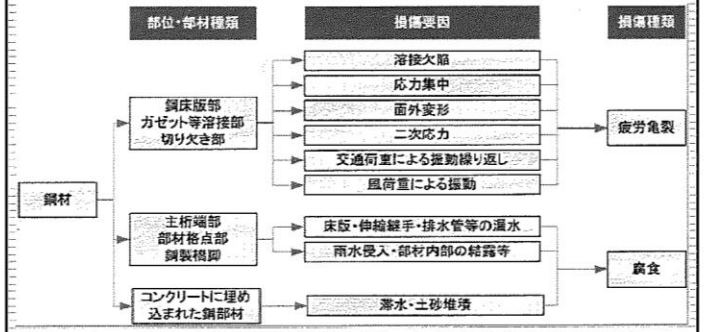
● 全国的な視野で見ると日常の細々とした橋梁の維持管理の業務は原則的に地方のコンサルタントや建設業者によって行われている。

● 橋梁の設計・機能修復・修理などファブリケータが得意な分野で貢献の余地がある。

長寿命化技術の体系



鋼橋部位・部材種類毎の損傷要因と主な損傷種類の体系



● 橋梁の更新については新造と同じく重点的に貢献すべきである。これから橋梁ストックは全国的にも急速な高齢化が進行する。甚だしい高齢橋は予防保全よりも更新の方が経済的になる。特に線形、拡幅、など橋梁のアップグレードには主力として貢献できるのではないだろうか

●寿命の概念

■物理的寿命

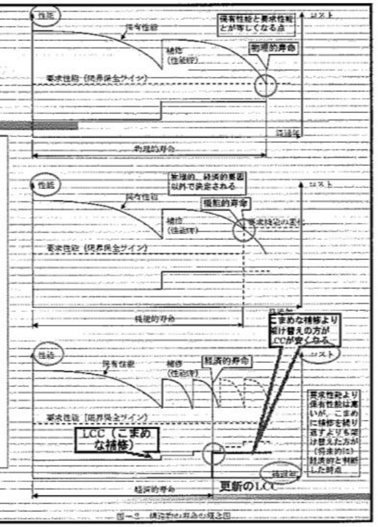
保有性能が低下して、使用限界性能(要求性能)と一致した時点。途中で補修や補強を行って性能回復を行う場合もある。

■機能的寿命

供用中に要求される機能が変化して要求性能が大きくなり、保有性能が要求性能を下回った時点

■経済的寿命

保有性能は要求性能より高い水準にあるものの、今後の補修・補強に要する費用が更新に要する費用を上回った時点。



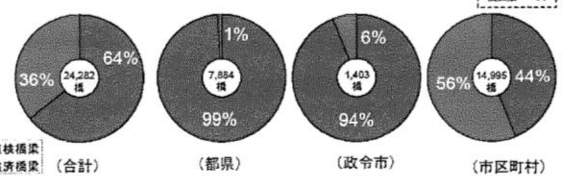
- 研究業務については設計・機能アップデート・保全・モニタリングなどファブリケータが得意な分野に関して異種分野の会社と協力・連携して推し進める必要がある

- 橋梁維持管理に関して全国的な需要をリストアップする。特に、全国市町村の橋の状況についてはその状況を正確に網羅し把握する。ただし、現状では市町村には予算が乏しく、事業としての成算は困難である

道路橋の予防保全に関する地方自治体への技術支援

・橋梁点検については、約9割の市区町村で「専門的な知見がない」「財政的に実施困難」「技術者がいない」等の理由により、定期的な点検が実施できていない。（平成19年9月調査より）
・このため、地方整備局による地方自治体へ技術的支援を実施中。

〔地方自治体における橋梁点検実施状況〕（平成21年度末時点・関東地方整備局管内）

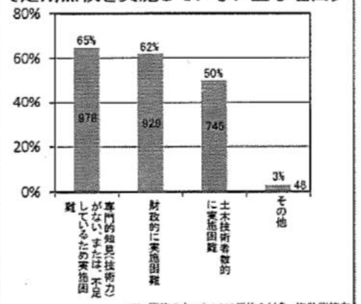


〔地方自治体への技術的支援〕
①自治体職員の技術力向上を図るため技術的な研修を実施
②橋梁の長寿命化修繕計画に関する説明会の開催
③自治体管理橋梁へ技術的助言

国交省関東地方整備局　道路構造保全官　窪田光作氏　H23・4月

国交省関東地方整備局　道路構造保全官　窪田光作氏　H23・4月

定期点検を実施していない主な理由

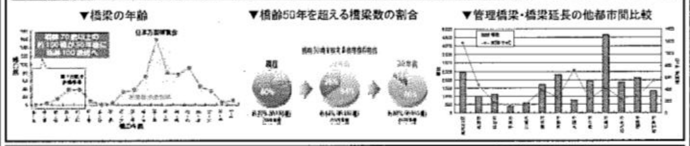


大阪市における橋梁維持管理技術者育成の現状と課題

大阪市における橋梁担当者の現状

・大阪市では、早くから都市基盤整備を進めてきた結果、戦前に架けられた橋梁も多く管理しており、橋梁の高齢化が進展している。
・大阪市では、連続高架橋や長大橋を含む764橋の橋梁を管理しており、管理する橋梁の橋面積は他都市に比べて大きい。

▼橋梁の年齢　▼橋齢50年を超える橋梁数の割合　▼管理橋梁・橋梁延長の他都市間比較



大阪市における橋梁担当者の課題

○維持管理の課題

・戦前に整備された橋梁が老朽化していく一方で、高度経済成長期に集中的に整備した橋梁についても、一斉に更新時期を迎えることから、その改築・更新が課題となっている。
・また、厳しい財政状況の中で、より効率的・効果的な維持管理を行い、施設の延命化と維持管理費の平準化が必要。

○維持管理技術者育成の課題

・橋梁の新設工事が減少し維持管理へシフトしており、経験を積む機会が減少している。一方、熟練した職員が退職期を迎え、橋梁の計画・建設時の思想・技術を今後の維持管理に活かしていくという技術伝承の観点からの問題を抱えている。
・多数の橋梁を継続的に建設・管理していくには、専門分野に特化したスペシャリストと、全体をマネジメントするゼネラリストの養成が必要となるが、今後も職員が減少していく中で、一つの組織で技術者の養成を行う限界にきている。

大阪市建設局

橋梁維持管理技術者育成の現状及び課題

橋梁の高齢化時代における、技術継承の困難さ

・高度成長期の豊富な経験を有する技術者が一斉に退職（技術継承）
⇒橋梁の維持管理分野は、高度な知識や建設現場を含め豊富な現場経験等により培われるもの。
しかし、工事量が減少し経験する機会も少なくなり、これまで以上に維持管理の堪能な人材養成が困難

～大阪府の状況～
・OJT（再任用、技術審査会など）
・マイスター制度
・技術者実務研修（設計・施工等）

～市町村の状況～
・予算や人材不足、維持管理に関する経験不足

都市基盤施設の高齢化

総合的な経験不足
（工事量の減少等）

～今後の課題～
○これまで以上に人材養成が困難
○府域市町村の維持管理技術力の確保
○確実な技術の継承と持続可能な人材養成が必要

～確実な技術の継承と持続可能な人材養成に向けて～

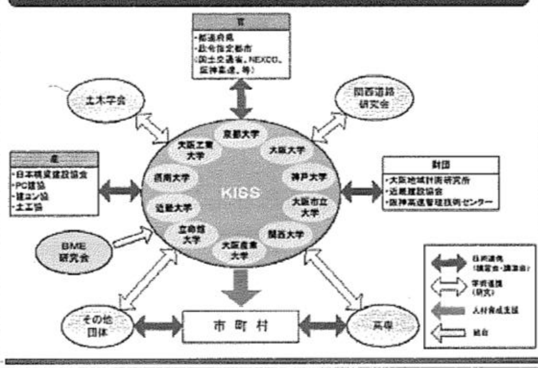
①豊富な実務経験のもつ人材から新設、点検・診断、補修・補強など集中的な実務トレーニングの実施
②様々な事業主体の不具合対応の経験や重要な判断、損傷（点検結果）・その処方等の知識データの共有化
③緊急時に専門的見地（学識、施工専門家等）から技術的ｱﾄﾞﾊﾞｲｽを頂ける「ﾃｸﾆｶﾙ・ｱﾄﾞﾊﾞｲｻﾞｰ制度」が必要
④橋梁を診ることができる豊富な実務経験をもつ人材からなる「人材バンク」が必要

公的セクターや次世代の橋梁維持管理技術者の育成のため、産学官連携の人材養成を行なうしくみが必要
維持管理業務を活性化（魅力の向上）させるしくみが必要

地形・地勢が同様な関西での取り組みが維持管理技術の向上及び技術継承にとって有効。
また、今後の地方分権の流れに向けた取り組みとしても検討が必要。

NPO関西橋梁維持管理ー大学コンソーシアム　の概要

KiSS（Kansai Infrastructure Sustainable Station）連携相関図



● 橋梁の維持管理にあたりBMSの理解と学習も不可欠である

- ショーボンドやスバル興業などいわゆる橋梁のメンテナンスに特化した会社のやり方の研究をする。現金決済などファブリケータとは異なるシステムをとっている

- 海外特に中国、韓国などは最近橋梁の新造が急増している。その陰で性急な建設に伴う不具合、破損などが目立つ。海外での橋梁保全の需要は今後急増することが予測される。

- 橋梁の長寿命化に必要な最新技術を調べ必要に応じてそのような技術を持った会社と連携する。新材料、長寿命化、計測技術などを学習する

- 会社の維持管理に賭ける意気込みを橋梁のオーナーをはじめ、対外的にも表明する。具体的には研究成果を積極的に学協会などで国内外にて発表することも必要である

- そのためには技術者を橋梁の維持管理に関わる技術発表会に進んで出席をさせる

- エネルギー、食料など人類の恒久的な重要課題に関わり橋梁技術の貢献を考える。

- コンサルタント会社はプロポーザルに参画できるがファブリケータはできないので協力する必要がある。例えば異業種交流などを通じて協力する。

- 全国の橋梁の所在地までのルートなどを予め調査研究しておく

- 災害復旧に際して何時でも対応できる準備をしておく

- 構造の省力化(静定構造化)と施工の安全性(不静定構造)のバランスの研究をする

- 維持管理の容易な構造の研究(プロポーザルなどで強調)

橋の長寿命化に向けての我国における最近の話題

(主要な使用出典)

(社)日本鋼構造協会　関西地区委員会　研究小委員会テーマ:

「鋼構造物における長寿命化・延命化技術の現状と課題」

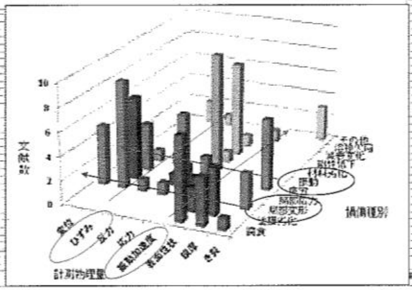
(特別研究小委員会　委員長　渡邊英一)

マトリクス(センシング)

センシング技術の開発状況

- 計測物理量としては，ひずみと加速度が多い．一方，応力・反力やpH，温度に関する計測事例は少ない
- 診断する損傷種別は局部変形と振動が大半を占め，材料劣化や剛性低下などの直接的な計測は少ない

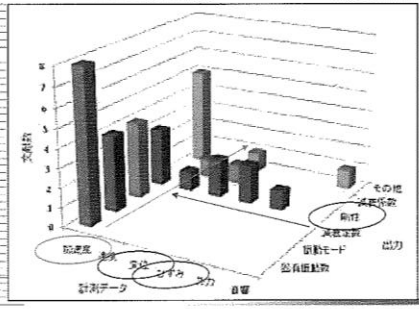
文献数の多い項目			
加速度	→	振動	9
ひずみ	→	局部変形	8
		局部応力	8
加速度	→	局部変形	7
表面性状	→	腐食	7
き裂	→	疲労	7



マトリクス(評価手法)

評価手法の開発状況

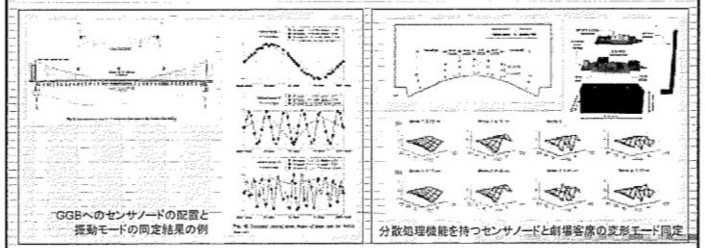
- 計測データの文献数の分布には偏りが大きく，加速度波形からの全体系の同定が大半．
- 出力：変位や歪みの計測値から局所的な剛性を評価する事例も見られる．



先端的な研究例1 － センサネットワークと同定手法の連携

センサネットワークと構造同定を組み合わせた評価手法の実構造物への適用

1. MICA-Moteを用いたゴールデンゲートブリッジでの振動計測と同定
   - S. N. Pakzad, et.al.: Design and Implementation of Scalable Wireless Sensor Network for Structural Monitoring, Journal of Infrastructure Systems, ASCE, pp. 89-101 ,Vol. 14, No. 1, 2008.
2. ワイヤレス計測を用いた並列処理による建築物のモーダル推定
   - A.T.Zimmerman et.al.: Automated Modal Parameter Estimation by Parallel Processing within Wireless Monitoring Systems, Journal of Infrastructure Systems, ASCE, pp.102-113 ,Vol.14, No.1, 2008.



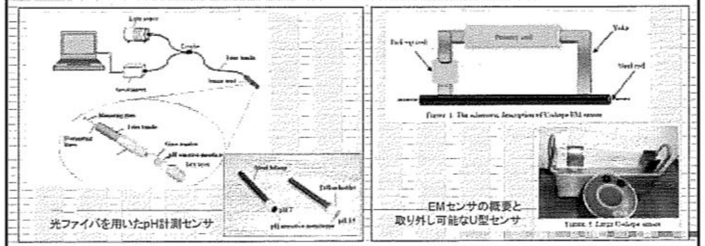
GGBへのセンサノードの配置と振動モードの同定結果の例

分散処理機能を持つセンサノードと劇場客席の変形モード同定

先端的な研究例2 － 多様な物理量の計測への適用

歪み，加速度以外の計測手法の開発と実構造物への適用

1. 光ファイバを用いたpH計測やAE計測(FBG方式)のRC構造物への適用
   - W.R.Habel, et.al.: Fiber Optic Sensors For Long-Term SHM in Civil Engineering Applications, Proc International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, 2007.
2. 取り外し可能な透磁率計測センサ(EMセンサ)によるPC鋼線の応力計測
   - S.Sumitro, et.al.: Removable Actual-Stress Sensor, Proc International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, 2007.



光ファイバを用いたpH計測センサ

EMセンサの概要と取り外し可能なU型センサ

JSSCの調査結果のまとめ

【センシング技術】

1. 様々な計測技術について研究が進められ，実構造物に適用されてきている．ただし，計測対象は，歪みや加速度が多い．
2. 光ファイバを用いた計測技術は幾つかの手法が実用化され，汎用的に利用されている．
3. 一般的に評価との連携が十分ではなく，計測結果の有効活用が今後の検討課題．
4. 検知性能や耐久性等の評価が不明確なものもあり，統一的な評価方法の確立も必要．

【性能評価手法】

1. 同定手法の高度化は顕著で，計算性能の向上により高度な解析が可能．特に，建築物や長大橋については損傷同定への適用も可能なレベルに達してきている．
2. 加速度波形を用いた全体系のモード推定がメインであり，その他の計測項目や評価項目に関する研究はあまり見られない．
3. 一部でベンチマークテストは行われているが，各手法の特徴や適用性の比較は少ない．

【調査全般】

1. マトリクスにより技術動向が把握できたが，今後のデータベースの拡充と更新が必要．

おわりに

- 橋梁の更新については新造と同じく重点的に貢献すべきである。これから橋梁ストックは全国的にも急速な高齢化が進行する。甚だしい高齢橋は予防保全よりも更新の方が経済的になる。特に線形、拡幅、など橋梁のアップグレードには主力として貢献できるのではないだろうか
- 研究業務については設計・機能アップデート・保全・モニタリングなどファブリケータが得意な分野に関して異種分野の会社と協力・連携して推し進める必要がある

詳細⑫：平成２３年度「橋梁の維持・管理・補修・補強」講習会
（高知工業高等専門学校）

平成23年度「橋梁の維持・管理・補修・補強」講習会のご案内

市町村の橋梁管理技術者及び建設コンサルタント橋梁技術者のための、橋梁の維持・管理・補修・補強に係る講習会を下記のように開催します。関係各位のご参加をお待ち申し上げております。

講習会の目的

我が国には、高度成長期に建設され架設後 50 年を経過した橋梁が多数あり、それらの耐久化対策が喫緊の課題となっています。特に、生活道路や災害時避難路として使用頻度の高い中小橋梁の数は膨大で、その維持・管理・補修・補強が急がれています。

高知県においても、近い将来発生すると思われる南海大地震に備え、東日本大震災から得られた社会資本整備についての新たな知見をも活かした、安心・安全な地域社会の実現が求められます。

本講習会は、県内の橋梁技術者を対象に、橋梁の長寿命化を主題とした、その必要性や意思決定の方法、補修補強の具体的方法、寿命予測・ライフサイクルコストの検討方法等について講義し、高知県における橋梁の維持・管理・補修・補強の技術力向上を図ろうとするものです。

講習会の方法

講習会は、基礎編、中級編、応用編に分け、3 年間で完結するステップアップ式で構成します。各年度の実施回数は 2 回、実施内容は次のとおりです。

○平成 23 年度（基礎編）

維持・管理・補修・補強の必要性を、過去の事故や損傷の実例をスライドによって説明し、さらに現地見学により実際の損傷を確認する。鋼橋およびコンクリート橋および橋梁基礎を対象とし、東日本大震災の被災状況なども紹介する。1 回目は事例紹介・現地見学および橋梁の維持・管理・補修・補強の概要を理解する。2 回目は材料特性・原因等に言及しながら、実例に対する補修・補強等の一般的方法の解説を行う。

○平成 24 年度（中級編）

鋼橋及びコンクリート橋を対象とし、材料・構造に係わる具体的な損傷事例について、補修設計及び補修法に関する解説を行うと共に補修・補強の見積もりについても触れる。また、近年の補修・補強等に関する先端技術の研究についても概説する。

○平成 25 年度（応用編）

鋼橋及びコンクリート橋を対象とし、材料・構造及び基礎に係わる具体的な損傷事例について、補修設計・補強設計及び補修法・補強法の解説を行うと共に、劣化予測・アセットマネージメント・LCC（ライフサイクルコスト）など、橋梁の維持・管理・補修・補強に係わる意思決定のために必要な概念の基礎を学ぶ。

主 催　主催：四国地区高専地域イノベーションセンター（開催校：高知工業高等専門学校）
共催：（社）高知高専テクノフェロー・土木学会四国支部

対 象　市町村の橋梁管理技術者、建設コンサルタントの橋梁技術者

申し込み・問い合わせ先：**高知工業高等専門学校総務課企画係**
E-mail：kikaku@jm.kochi-ct.ac.jp　FAX：088-864-5618　TEL：088-864-5643
※問い合わせは、原則としてメールか FAX でお願いします。

本年度の第１回講習会のご案内が裏面にあります。

平成 23 年度第 1 回「橋梁の維持・管理・補修・補強」講習会［基礎編］

開催日時：平成 23 年 9 月 16 日（金）　13：00～16：45
　　　　　　　　9 月 17 日（土）　 8：30～16：45

開催場所：高知市文化プラザ かるぽーと 11 階大会議室 及び 橋梁現地

定　　員：50 名

プログラム：

平成 23 年 9 月 16 日（金）

13：00～13：10　開催挨拶　高知工業高等専門学校教授・地域連携センター長　岡林宏二郎
13：10～14：50　「橋梁の長寿命化のための維持・管理・補修・補強と社会的意義」京都大学名誉教授　渡邊英一
14：50～15：05　［休憩］
15：05～16：45　「コンクリート橋の劣化要因と維持・管理・補修・補強による長寿命化」　広島大学名誉教授　米倉亜州夫

平成 23 年 9 月 17 日（土）

8：30～12：30　現地見学　（詳細は後日ご案内します）
12：30～13：30　［昼食］（かるぽーと周辺で各自）
13：30～14：30　現地見学に関する解説
14：30～15：15　「橋梁の現状と課題」　高知工業高等専門学校教授　岡林宏二郎
15：15～15：30　［休憩］
15：30～16：45　「橋梁の維持・管理・補修・補強の概要と課題」　高知工業高等専門学校名誉教授　多賀谷宏三

申し込み方法：　1．下記申込書の事項について、メールまたは FAX でお申込み下さい。
　2．講習料は無料ですが、講演会当日に受付にて 1,000 円(テキスト代)をお支払いください。

申し込み・問い合わせ先：高知工業高等専門学校 総務課企画係
E-mail：kikaku@jm.kochi-ct.ac.jp　FAX：088-864-5618　TEL：088-864-5643
※問い合わせは、原則としてメールか FAX でお願いします。

申し込み締切：9 月 8 日（木）

平成 23 年度第 1 回「橋梁の維持・管理・補修・補強」講習会申込書

所属／連絡先	参加者氏名	CPD 証明書※	会員番号※
所属： 連絡先（TEL・FAX・E-mail）：		要・不要	
		要・不要	
		要・不要	
		要・不要	
通信欄			

※本講習会は土木学会 CPD 認定対象（9 単位）講習会です。所属学会名と会員番号をご記入ください。

橋の長寿命化のための維持・管理・補修・補強と社会的意義

(財)大阪地域計画研究所　理事長
京都大学　名誉教授
(株)駒井ハルテック　技術顧問
渡邊英一

はじめに

- 現在は少子高齢化が進み、汗を掻かなくても済む職業が好まれる時代.
- だから次世代の技術者の育成と伝統技術の継承は大問題となりつつある.
- また、建設の世界でも新設一途の状況が一変して、如何に既存構造物の維持・管理を行うかが最重要課題である.

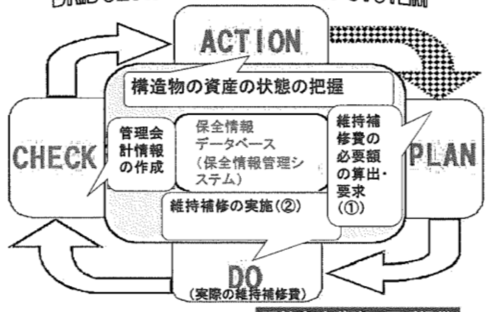
アセットマネジメント

- 「メンテナンス＝維持・修繕」という従来からの発想を転換し、土木構造物を「資産」として捉え、工学だけでなく経済学や経営学の考え方を取り入れた計画的な資産の運用・管理。
- 造ることだけに専念してきたインフラ整備が初めてライフサイクルに視点を移すきっかけとなった.

アセットマネジメント

- 平成15年4月、「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会(委員長：岡村甫高知工科大学理事長)」の提言：
- 『道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の下で、「いつ」「どのような」対策を「どこ」に行うのが最適であるかを決定できる総合的なマネジメントシステムを構築.』

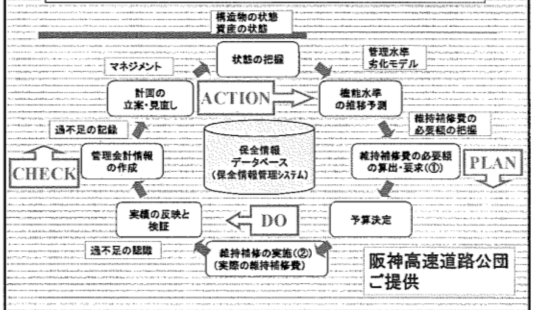
BRIDGE ASET MANAGEMENT SYSTEM



阪神高速道路公団ご提供

5

マネジメントシステム：PDCAサイクル



阪神高速道路公団ご提供

6

人口減少、少子高齢化の問題点

- 出生率と高齢化率
- 日本の合計特殊出生率（15歳～49歳までの女子の年齢別出生率を合計したもので「女性が一生に生む子供の数」）は1.36 (2000年実績).因みに人口が減少に向かう分岐は2.08.
- また、高齢化率（65歳以上の人口が総人口に占める割合）は17.4%(2000年実績). 今後2050年～2080年にかけては36～38%と予測される.

産業の業種別分類および生産年齢人口

産業を

- ①単純労働の業種、
- ②対人サービス業種、
- ③専門的知識・技能を必要とする業種

に分類すると

③の人材が2010年から不足する. 生産年齢人口も減少.

→

- 女性や高齢者の勤労参加の促進の必要.
- 多様な雇用制度や勤務体系・施設整備が必要.
- 経験・体力に応じた就労条件の整備が必要.

近未来世界の予測

- 更なる出生率低下と労働力の減少→？
- 人口減による地域格差の増大→？
- 高齢者増大に伴う社会の負担増大→？
- 需要の減少→？
- 競争力の低下→？
- インフラも人間と同じく少子高齢化！

堺屋太一 の見方

- 高齢化こそ大好機(好老社会・活老)
- 人口の減少が経済と文化を発展させた例は多い
- 知価革命の嵐:「満足こそ幸せ」
- 自由な労働者は世の中を変える
- ローコスト社会が出現
- 知恵と時間とお金の最適配分
- 楽しみ、安心、健康を目指して
- 七十歳まで働くことを選べる社会
- 子孫に残せるノウハウを持っているか

疑　問

- 団塊の世代の次の世代はどうか？ ？？？
- 人口の減少が経済と文化を発展→？？？
- 知価革命の嵐:「満足こそ幸せ」→？？？
- 自由な労働者は世の中を変える→？？？
- ローコスト社会が出現→？？？
- 知恵と時間とお金の最適配分→？？？
- 楽しみ、安心、健康を目指して→？？？
- 七十歳まで働くことを選べる社会→？？？
- 子孫に残せるノウハウ→もう無い？

クレオパトラ

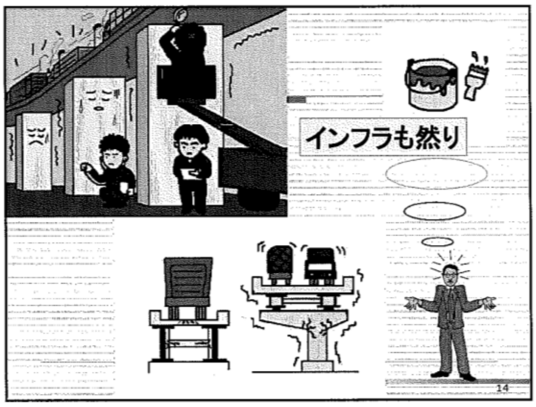
健康で若く輝いている女性でも・・・

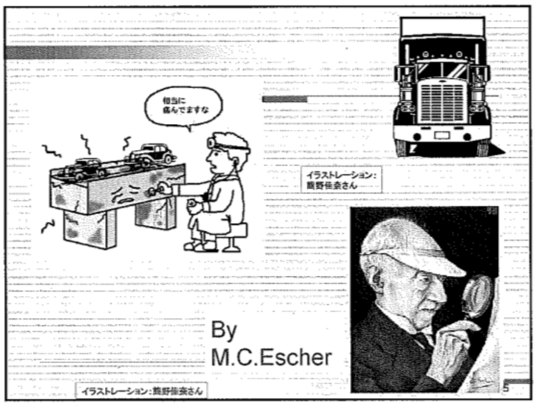
時が経つと？？？

Cleopatra

12

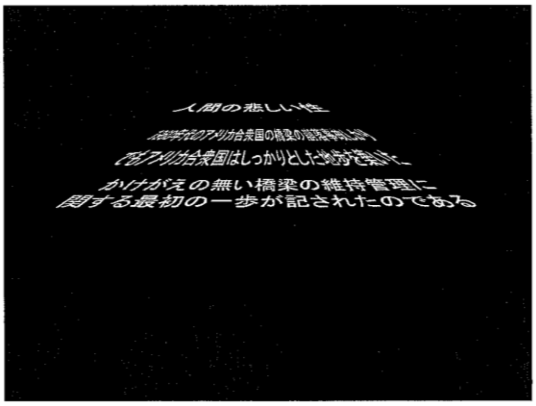

花の色は移りにけりないたずらに
我が身世にふる眺めせしまに
小野小町
小倉百人一首

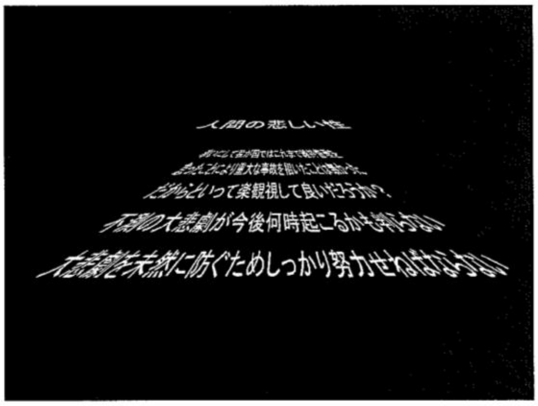

インフラも然り
14


相当に
傷んでますな
イラストレーション：
鵜野佳奈さん
By
M.C.Escher
イラストレーション：鵜野佳奈さん
5

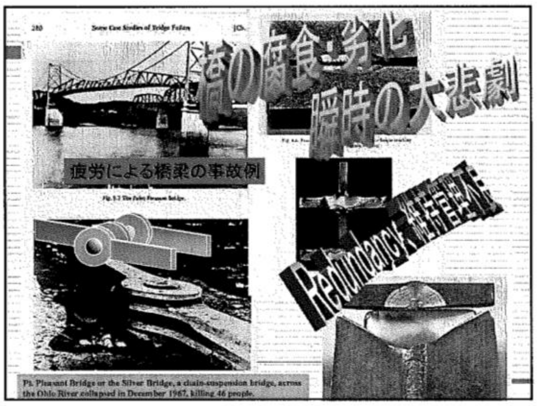

日経2005
年11月4日
道路・港湾も高齢化時代
維持コスト
2030年度に倍増
更新見送りも検討
国交省


人間の悲しい性
大きな犠牲を払ってやっと
失ったものの大きさに気付く
阪神淡路大震災しかり
福知山線脱線転覆事故しかり
スマトラ沖大地震大津波しかり
東日本大震災大津波しかり

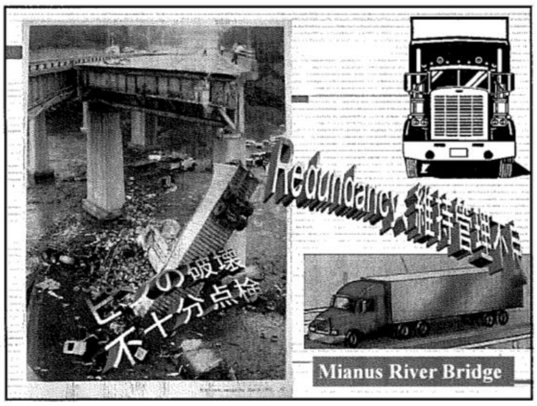

人間の悲しい性
かけがえの無い橋梁の維持管理に
関する最初の一歩が記されたのである


人間の悲しい性
だからといって楽観視して良いだろうか?、
不測の大悲劇が今後何時起こるかも判らない
大悲劇を未然に防ぐためしっかり努力せねばならない

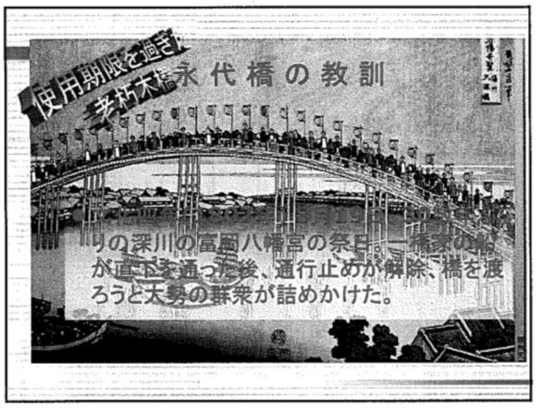

1980年代の「荒廃するメリカ」
1967年にシルバー橋が崩壊　46名死亡
橋梁の安全に全国的な関心が高まる
【シルバー橋の落橋を報じる当時の新聞記事と落橋後の様子】
BEAUTIFUL SILVER SUSPENSION BRIDGE IS SHAMBLES
1927年当時
1967年当時
Silver Bridge Crash
Is National Disaster
出典:Fond du Lac Commonwealth Reporter
(1967年12月)
シルバー橋があるウエスト・ヴァージニア州
しかし、十分な予算が投入されなかった
出典：（社）国際建設技術協会

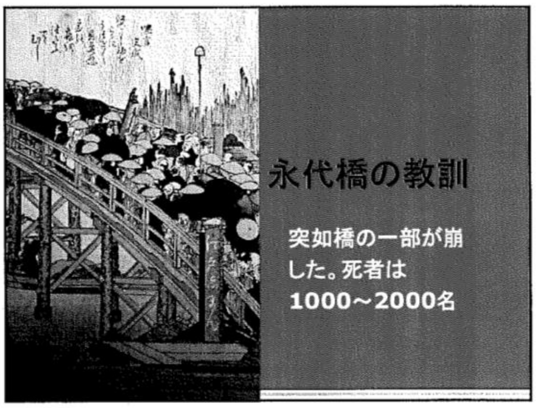

Some Case Studies of Bridge Failure
瞬時の大悲劇
疲労による橋梁の事故例
Redundancy
Pt. Pleasant Bridge or the Silver Bridge, a chain-suspension bridge, across the Ohio River collapsed in December 1967, killing 46 people.

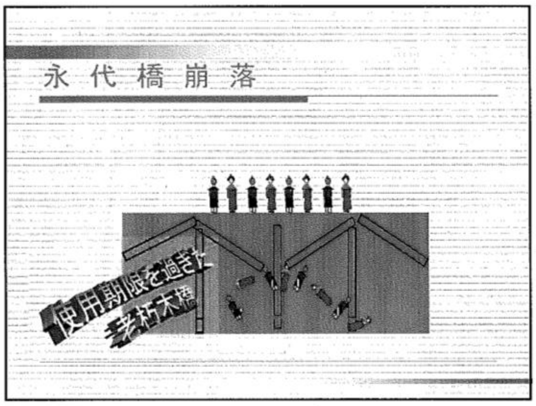

1980年代の「荒廃するアメリカ」
1983年にマイアナス橋が鋼桁の疲労により崩壊し、本復旧まで3ヶ月を要した。
【マイアナス橋の崩壊の状況】
マイアナス橋があるコネチカット州
出典：（社）国際建設技術協会


の破壊
十分点検
Redundancy
Mianus River Bridge

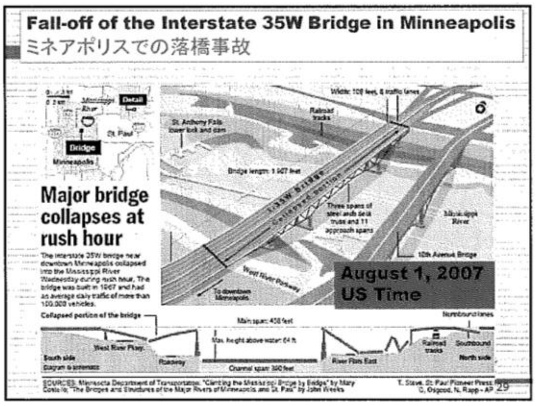

永代橋の教訓
現在の永代橋

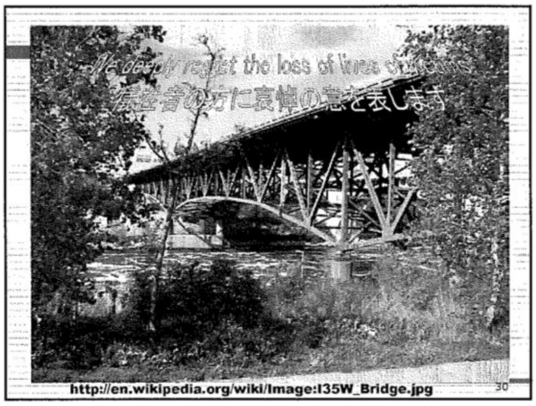

使用期限を過ぎ
老朽木橋
永代橋の教訓
りの深川の富岡八幡宮の祭日。一橋家の船が直下を通った後、通行止めが解除、橋を渡ろうと大勢の群衆が詰めかけた。


永代橋の教訓
突如橋の一部が崩した。死者は
1000～2000名


永代橋崩落
使用期限を過ぎ
老朽木橋


永代橋の教訓
使用期限を過ぎ
老朽木橋
「永代橋崩壊図」(江戸東京博物館蔵)

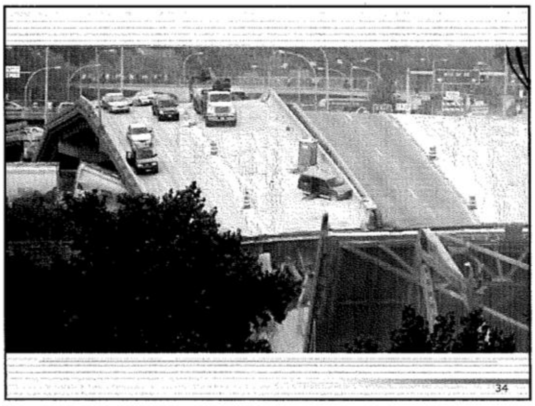

Fall-off of the Interstate 35W Bridge in Minneapolis
ミネアポリスでの落橋事故
Major bridge collapses at rush hour
August 1, 2007
US Time
29

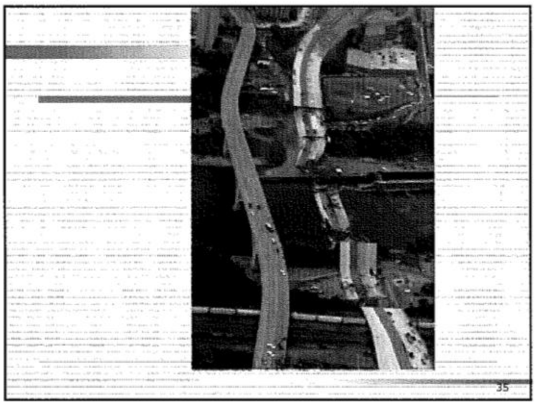

http://en.wikipedia.org/wiki/Image:I35W_Bridge.jpg
30

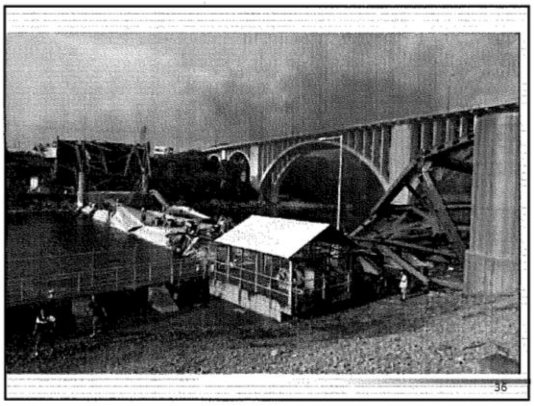

We deeply regret the loss of lives of victums.
犠牲者の方に哀悼の意を表します
31

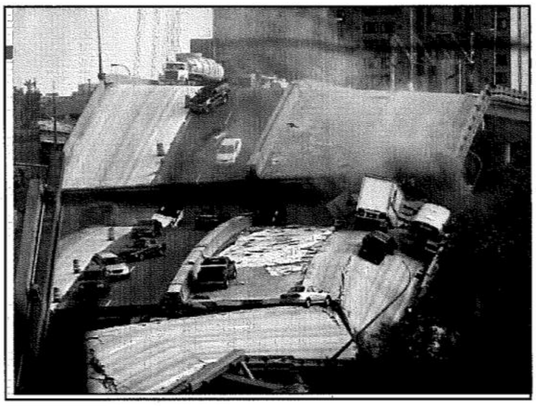

32

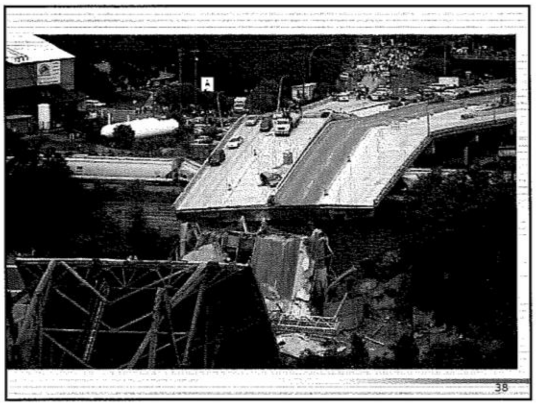

We deeply regret the loss of lives of victums.
犠牲者の方に哀悼の意を表します
33


34


35

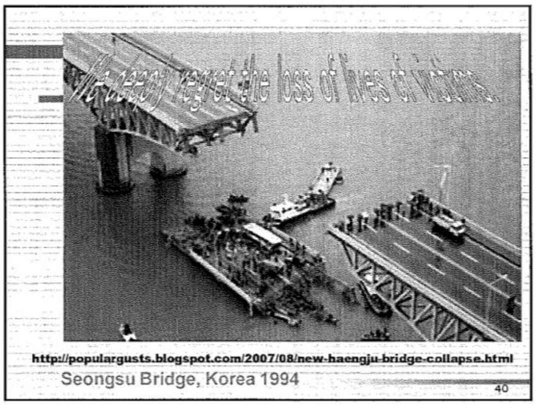

36

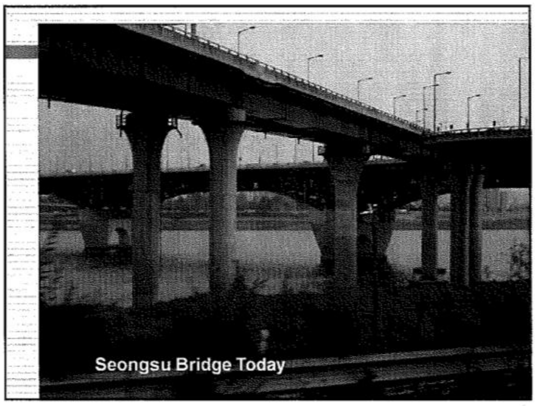




聖水橋の　落橋事故
Seongsu Bridge, Korea
1994

39



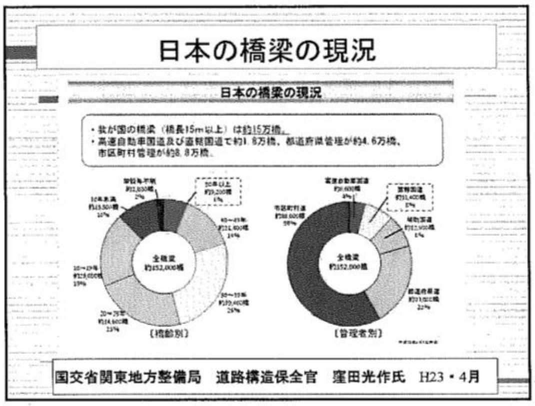


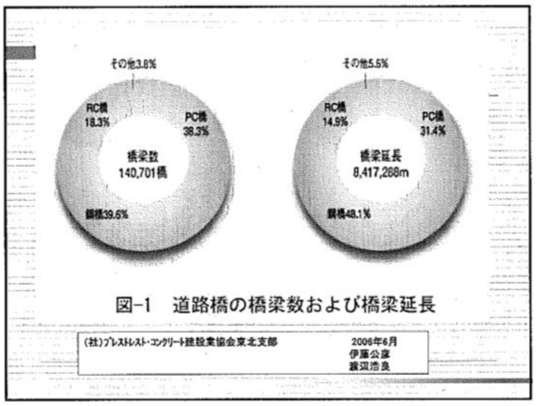
維持・管理の社会的意義

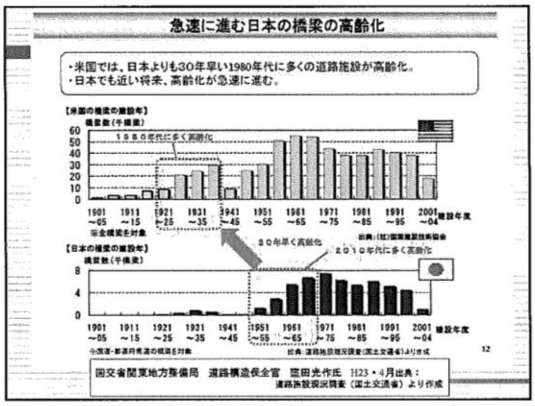
- 社会経済活動の高度化に伴い，生産・消費・廃棄の量的な規模が飛躍的に増大し，資源枯渇，環境破壊が進んでいる．
- 我が国の建設環境も，スクラップ&ビルドの時代からストック有効活用の時代へと大きく変わる必要があり，構造物の長寿命化・延命化は今後ますます重要な課題となっている．

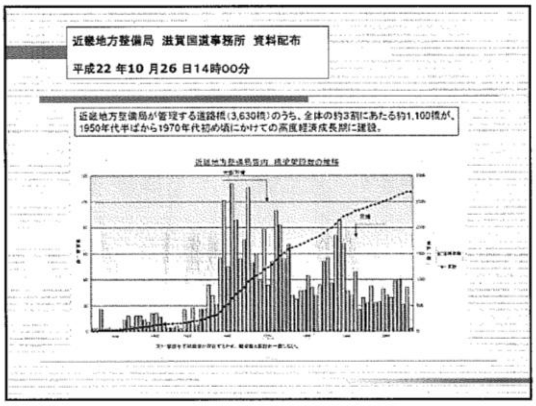
新設･維持管理･更新･災害復旧の長期予想

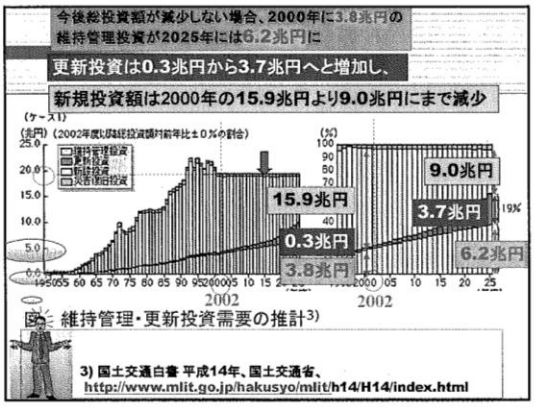
- 新規投資額は確実に減少→新造は2040年までに殆どなくなる（平成21年度　国土交通白書－国土交通省）？
- 更新投資は増大
- 維持管理投資も増大
- 社会資本ストックは確実に増大

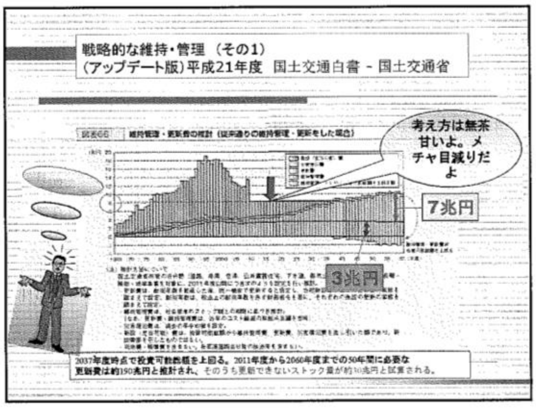


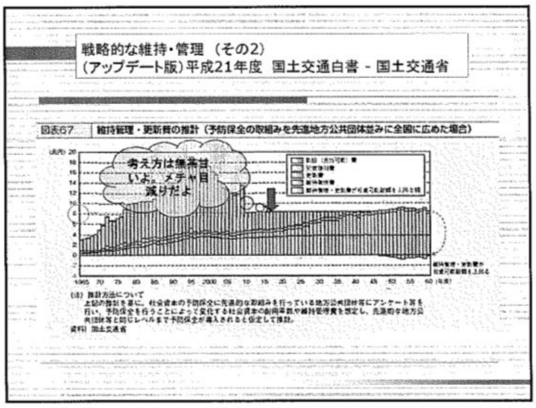


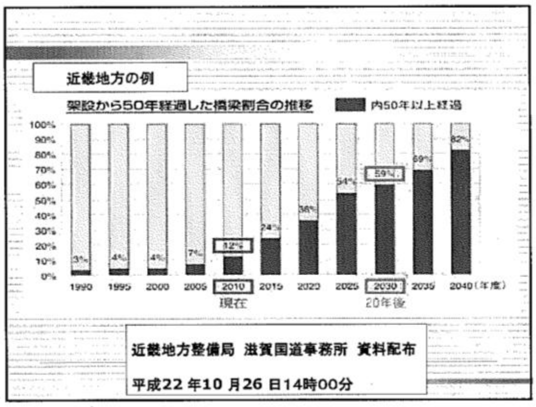


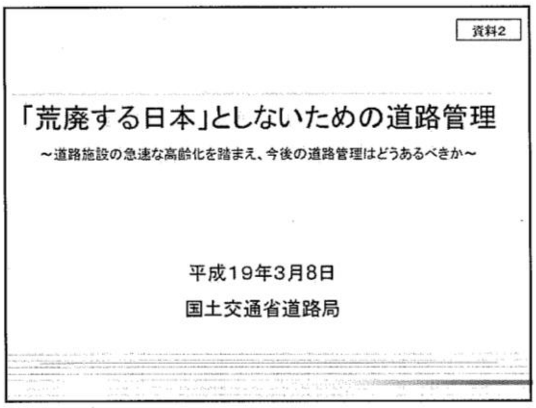


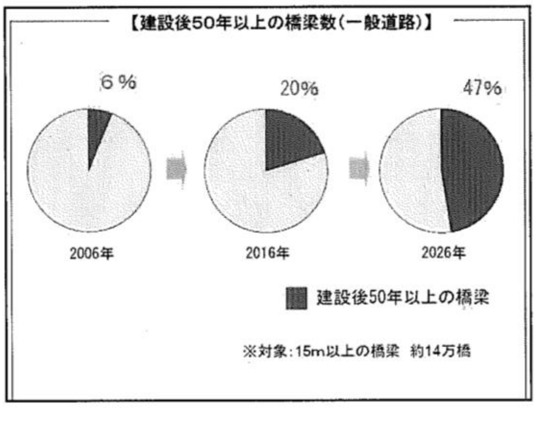


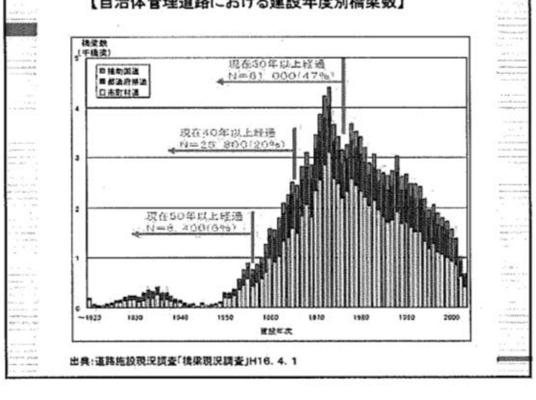

戦略的な維持・管理 （その1）
(アップデート版)平成21年度 国土交通白書 - 国土交通省
図表66 維持管理・更新費の推計（従来通りの維持管理・更新をした場合）
考え方は無茶甘いよ。メチャ目減りだよ
7兆円
3兆円
2037年度時点で投資可能総額を上回る。2011年度から2060年度までの50年間に必要な更新費は約190兆円と推計され、そのうち更新できないストック量が約30兆円と試算される。

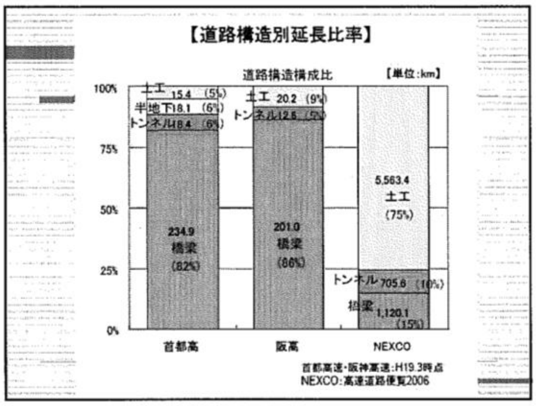

戦略的な維持・管理 （その2）
(アップデート版)平成21年度 国土交通白書 - 国土交通省
図表67 維持管理・更新費の推計（予防保全の取組みを先進地方公共団体並みに全国に広めた場合）
考え方は無茶甘いよ。メチャ目減りだよ
資料 国土交通省

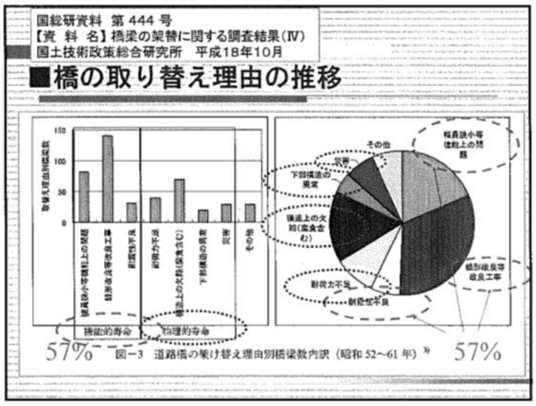

近畿地方の例
架設から50年経過した橋梁割合の推移
内50年以上経過
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
3%
4%
4%
7%
12%
24%
36%
54%
59%
69%
82%
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025
2030
2035
2040（年度）
現在
20年後
近畿地方整備局 滋賀国道事務所 資料配布
平成22年10月26日14時00分

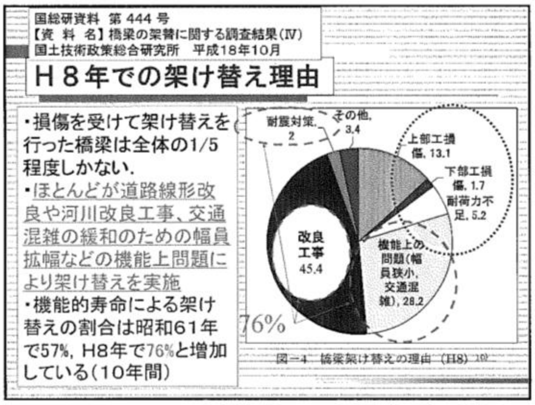

資料2
「荒廃する日本」としないための道路管理
～道路施設の急速な高齢化を踏まえ、今後の道路管理はどうあるべきか～
平成19年3月8日
国土交通省道路局

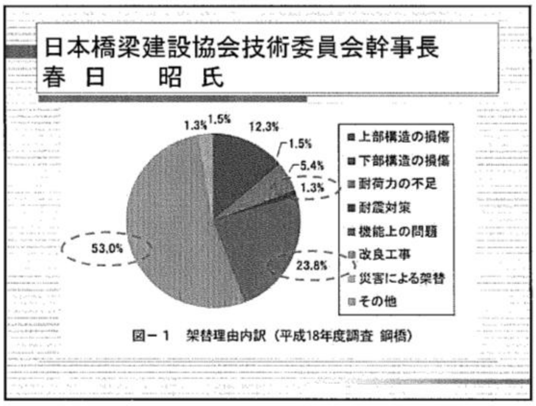

【建設後50年以上の橋梁数（一般道路）】
6%
20%
47%
2006年
2016年
2026年
建設後50年以上の橋梁
※対象：15m以上の橋梁 約14万橋

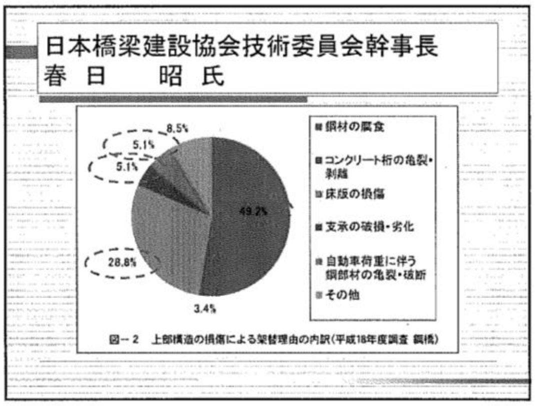

【自治体管理道路における建設年度別橋梁数】
橋梁数
(千橋梁)
補助国道
都道府県道
市町村道
現在30年以上経過
N=61,000(47%)
現在40年以上経過
N=25,800(20%)
現在50年以上経過
N=8,400(6%)
~1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
建設年次
出典：道路施設現況調査「橋梁現況調査」H16. 4. 1

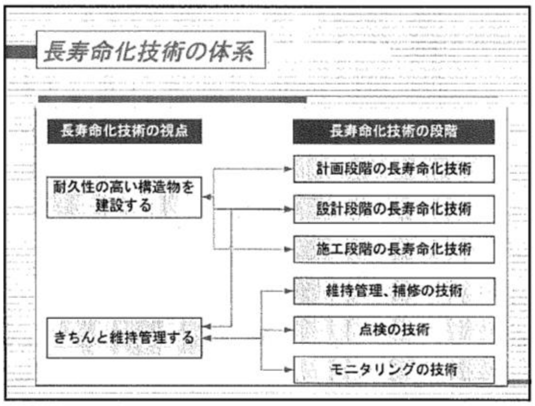

【道路構造別延長比率】
道路構造構成比
【単位:km】
100%
75%
50%
25%
0%
土工 15.4 (5%)
半地下 18.1 (6%)
トンネル 18.4 (6%)
234.9
橋梁
(82%)
土工 20.2 (9%)
トンネル 12.8 (5%)
201.0
橋梁
(86%)
5,563.4
土工
(75%)
トンネル 705.6 (10%)
橋梁 1,120.1 (15%)
首都高
阪高
NEXCO
首都高速・阪神高速:H19.3時点
NEXCO:高速道路便覧2006

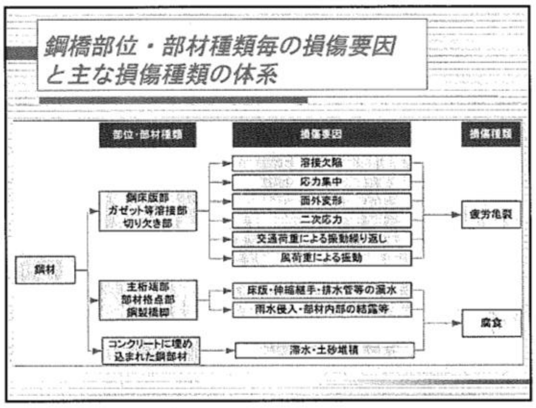

国総研資料 第444号
【資 料 名】橋梁の架替に関する調査結果(IV)
国土技術政策総合研究所 平成18年10月
■橋の取り替え理由の推移
機能的寿命
物理的寿命
57%
図－3 道路橋の架け替え理由別橋梁数内訳(昭和52～61年)
57%

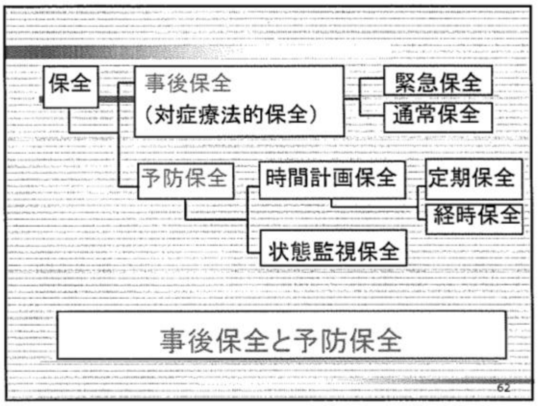

国総研資料 第444号
【資 料 名】橋梁の架替に関する調査結果(IV)
国土技術政策総合研究所 平成18年10月
H８年での架け替え理由
・損傷を受けて架け替えを行った橋梁は全体の1/5程度しかない.
・ほとんどが道路線形改良や河川改良工事、交通混雑の緩和のための幅員拡幅などの機能上問題により架け替えを実施
・機能的寿命による架け替えの割合は昭和61年で57%，H8年で76%と増加している(10年間)
耐震対策, 2
その他, 3.4
上部工損傷, 13.1
下部工損傷, 1.7
耐荷力不足, 5.2
改良工事 45.4
機能上の問題(幅員狭小, 交通混雑), 28.2
76%
図－4 橋梁架け替えの理由(H8)

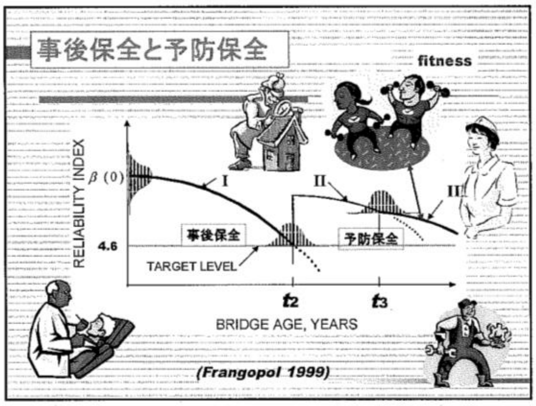

日本橋梁建設協会技術委員会幹事長
春 日 昭 氏
1.3% 1.5%
12.3%
1.5%
5.4%
1.3%
53.0%
23.8%
上部構造の損傷
下部構造の損傷
耐荷力の不足
耐震対策
機能上の問題
改良工事
災害による架替
その他
図－１ 架替理由内訳(平成18年度調査 鋼橋)

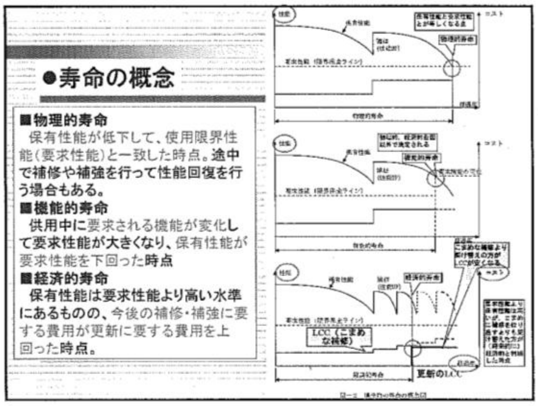

日本橋梁建設協会技術委員会幹事長
春 日 昭 氏
8.5%
5.1%
5.1%
49.2%
28.8%
3.4%
鋼材の腐食
コンクリート桁の亀裂・剥離
床版の損傷
支承の破損・劣化
自動車荷重に伴う鋼部材の亀裂・破断
その他
図－２ 上部構造の損傷による架替理由の内訳(平成18年度調査 鋼橋)


長寿命化技術の体系
長寿命化技術の視点
長寿命化技術の段階
耐久性の高い構造物を建設する
計画段階の長寿命化技術
設計段階の長寿命化技術
施工段階の長寿命化技術
きちんと維持管理する
維持管理、補修の技術
点検の技術
モニタリングの技術

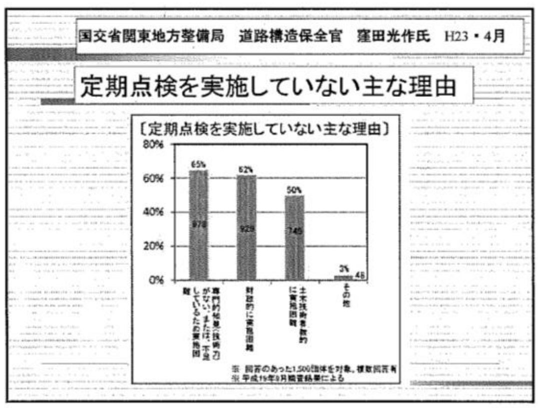

鋼橋部位・部材種類毎の損傷要因
と主な損傷種類の体系
部位・部材種類
損傷要因
損傷種類
鋼材
鋼床版部
ガゼット等溶接部
切り欠き部
溶接欠陥
応力集中
面外変形
二次応力
交通荷重による振動繰り返し
風荷重による振動
疲労亀裂
主桁端部
部材格点部
鋼製橋脚
床版・伸縮継手・排水管等の漏水
雨水侵入・部材内部の結露等
腐食
コンクリートに埋め
込まれた鋼部材
滞水・土砂堆積

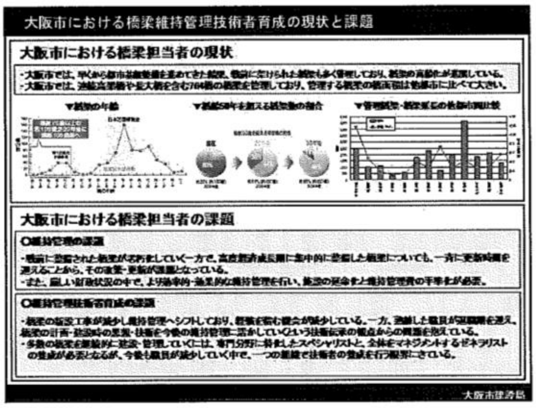

保全
事後保全
（対症療法的保全）
緊急保全
通常保全
予防保全
時間計画保全
定期保全
経時保全
状態監視保全
事後保全と予防保全
62

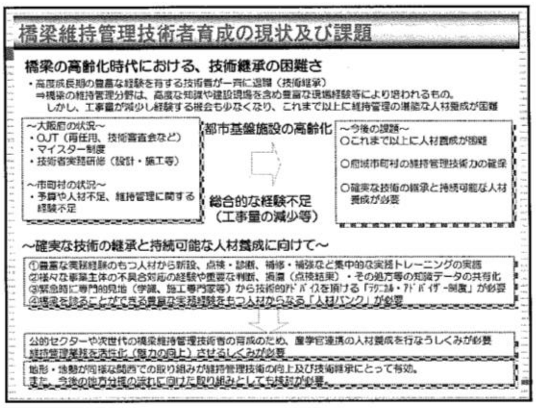

事後保全と予防保全
fitness
RELIABILITY INDEX
β (0)
I
II
III
4.6
事後保全
予防保全
TARGET LEVEL
f2
f3
BRIDGE AGE, YEARS
(Frangopol 1999)

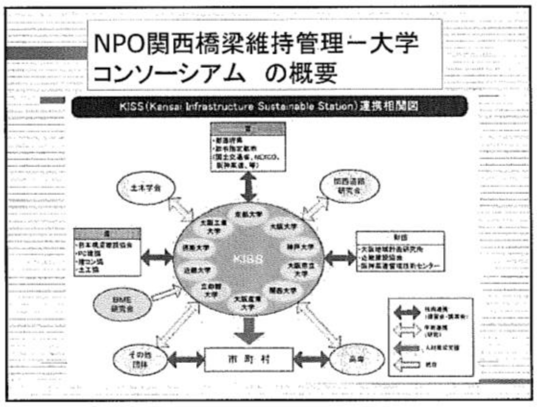

●寿命の概念
■物理的寿命
保有性能が低下して、使用限界性能（要求性能）と一致した時点。途中で補修や補強を行って性能回復を行う場合もある。
■機能的寿命
供用中に要求される機能が変化して要求性能が大きくなり、保有性能が要求性能を下回った時点
■経済的寿命
保有性能は要求性能より高い水準にあるものの、今後の補修・補強に要する費用が更新に要する費用を上回った時点。
更新のLCC

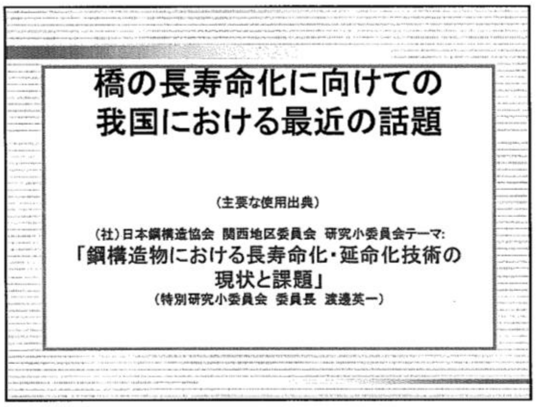

道路橋の予防保全に関する地方自治体への技術支援
〔地方自治体における橋梁点検実施状況〕(平成21年度末時点・関東地方整備局管内)
64%
36%
24,282橋
1%
99%
7,664橋
6%
94%
1,403橋
56%
44%
14,995橋
（合計）
（都県）
（政令市）
（市区町村）
〔地方自治体への技術的支援〕
①自治体職員の技術力向上を図るため技術的な研修を実施
②橋梁の長寿命化修繕計画に関する説明会の開催
③自治体管理橋梁へ技術的助言
国交省関東地方整備局　道路構造保全官　窪田光作氏　H23・4月

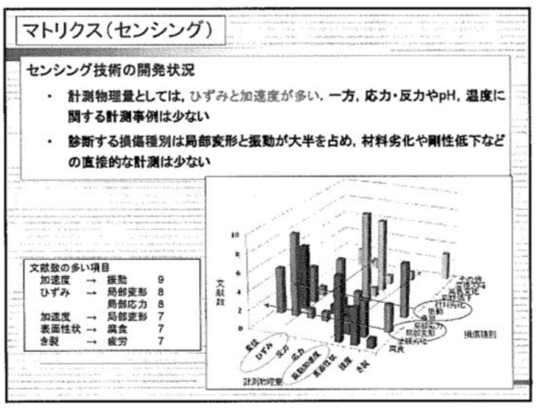

国交省関東地方整備局　道路構造保全官　窪田光作氏　H23・4月
定期点検を実施していない主な理由
〔定期点検を実施していない主な理由〕
80%
60%
40%
20%
0%
65%
62%
50%
3%
その他

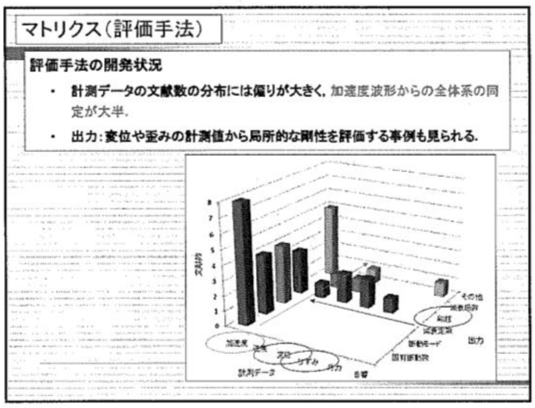

大阪市における橋梁維持管理技術者育成の現状と課題
大阪市における橋梁担当者の現状
大阪市における橋梁担当者の課題
○維持管理の課題
○維持管理技術者育成の課題
大阪市建設局


橋梁維持管理技術者育成の現状及び課題
橋梁の高齢化時代における、技術継承の困難さ
・高度成長期の豊富な経験を有する技術者が一斉に退職（技術継承）
⇒橋梁の維持管理分野は、高度な知識や建設現場を含め豊富な現場経験等により培われるもの。
しかし、工事量が減少し経験する機会も少なくなり、これまで以上に維持管理の堪能な人材養成が困難
～大阪府の状況～
・OJT（再任用、技術審査会など）
・マイスター制度
・技術者実践研修（設計・施工等）
～市町村の状況～
・予算や人材不足、維持管理に関する経験不足
都市基盤施設の高齢化
総合的な経験不足
（工事量の減少等）
～今後の課題～
○これまで以上に人材養成が困難
○府域市町村の維持管理技術力の確保
○確実な技術の継承と持続可能な人材養成が必要
～確実な技術の継承と持続可能な人材養成に向けて～
①豊富な実務経験のもつ人材から新設、点検・診断、補修・補強など集中的な実践トレーニングの実施
②様々な事業主体の不具合対応の経験や重要な判断、損傷（点検結果）・その処方等の知識データの共有化
③緊急時に専門的見地（学識、施工専門家等）から技術的アドバイスを頂ける「テクニカル・アドバイザー制度」が必要
④橋梁を診ることができる貴重な実務経験をもつ人材からなる「人材バンク」が必要
公的セクターや次世代の橋梁維持管理技術者の育成のため、産学官連携の人材養成を行なうしくみが必要
維持管理業務を活性化（魅力の向上）させるしくみが必要
地形・地盤が同様な関西での取り組みが維持管理技術の向上及び技術継承にとって有効。
また、今後の地方分権の流れに向けた取り組みとしても検討が必要。


NPO関西橋梁維持管理ー大学コンソーシアム の概要
KISS (Kansai Infrastructure Sustainable Station) 連携相関図
土木学会
関西道路研究会
KISS
BME研究会
市町村
その他団体


橋の長寿命化に向けての
我国における最近の話題
（主要な使用出典）
(社)日本鋼構造協会 関西地区委員会 研究小委員会テーマ:
「鋼構造物における長寿命化・延命化技術の
現状と課題」
（特別研究小委員会 委員長 渡邊英一）

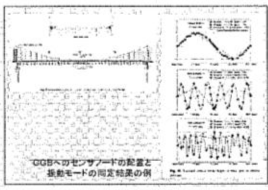

マトリクス（センシング）
センシング技術の開発状況
・ 計測物理量としては，ひずみと加速度が多い．一方，応力・反力やpH，温度に関する計測事例は少ない
・ 診断する損傷種別は局部変形と振動が大半を占め，材料劣化や剛性低下などの直接的な計測は少ない
文献数の多い項目
加速度 → 振動 9
ひずみ → 局部変形 8
局部応力 8
加速度 → 局部変形 7
表面性状 → 腐食 7
き裂 → 疲労 7
文献数
計測物理量
損傷種別


マトリクス（評価手法）
評価手法の開発状況
・ 計測データの文献数の分布には偏りが大きく，加速度波形からの全体系の同定が大半．
・ 出力：変位や歪みの計測値から局所的な剛性を評価する事例も見られる．
文献数
計測データ
出力

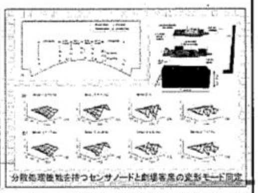
先端的な研究例1 ー センサネットワークと同定手法の連携

センサネットワークと構造同定を組み合わせた評価手法の実構造物への適用

1. MICA-Moteを用いたゴールデンゲートブリッジでの振動計測と同定
   - S. N. Pakzad, et.al.: Design and Implementation of Scalable Wireless Sensor Network for Structural Monitoring, Journal of Infrastructure Systems, ASCE, pp. 89-101 ,Vol. 14, No. 1, 2008.
2. ワイヤレス計測を用いた並列処理による建築物のモーダル推定
   - A.T.Zimmerman et.al.: Automated Modal Parameter Estimation by Parallel Processing within Wireless Monitoring Systems, Journal of Infrastructure Systems, ASCE, pp.102-113 ,Vol.14, No.1, 2008.



GGBへのセンサノードの配置と振動モードの同定結果の例

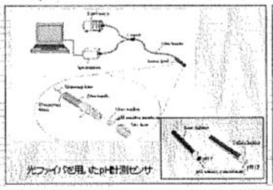


分散処理機能を持つセンサノードと劇場客席の変形モード同定

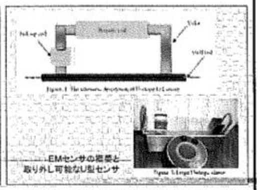
先端的な研究例2 ー 多様な物理量の計測への適用

歪み，加速度以外の計測手法の開発と実構造物への適用

1. 光ファイバを用いたpH計測やAE計測（FBG方式）のRC構造物への適用
   - W.R.Habel, et.al.: Fiber Optic Sensors For Long-Term SHM in Civil Engineering Applications, Proc International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, 2007.
2. 取り外し可能な透磁率計測センサ(EMセンサ)によるPC鋼線の応力計測
   - S.Sumitro, et.al.: Removable Actual-Stress Sensor, Proc International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, 2007.



光ファイバを用いたpH計測センサ



EMセンサの概要と取り外し可能なU型センサ

JSSCの調査結果のまとめ

【センシング技術】

1. 様々な計測技術について研究が進められ，実構造物に適用されてきている．ただし，計測対象は，歪みや加速度が多い．
2. 光ファイバを用いた計測技術は幾つかの手法が実用化され，汎用的に利用されている．
3. 一般的に評価との連携が十分ではなく，計測結果の有効活用が今後の検討課題．
4. 検知性能や耐久性等の評価が不明確なものもあり，統一的な評価方法の確立も必要．

【性能評価手法】

1. 同定手法の高度化は顕著で，計算性能の向上により高度な解析が可能．特に，建築物や長大橋については損傷同定への適用も可能なレベルに達してきている．
2. 加速度波形を用いた全体系のモード推定がメインであり，その他の計測項目や評価項目に関する研究はあまり見られない．
3. 一部でベンチマークテストは行われているが，各手法の特徴や適用性の比較は少ない．

【調査全般】

1. マトリクスにより技術動向が把握できたが，今後のデータベースの拡充と更新が必要．

青森県橋梁
アセットマネジメントシステム
50年間投資計画シミュレーション
結果等報告書
（概　要　版）

● 青森県橋梁アセットマネジメントシステム開発コンソーシアム

76

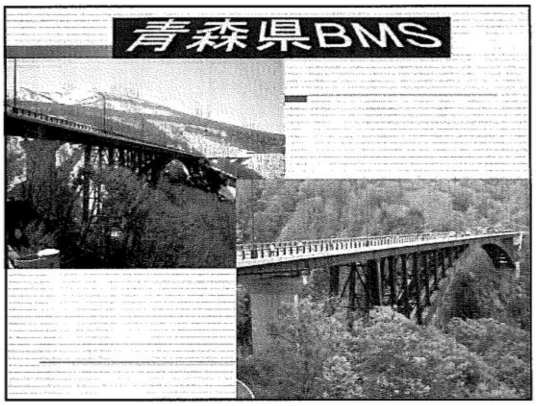
青森県の例

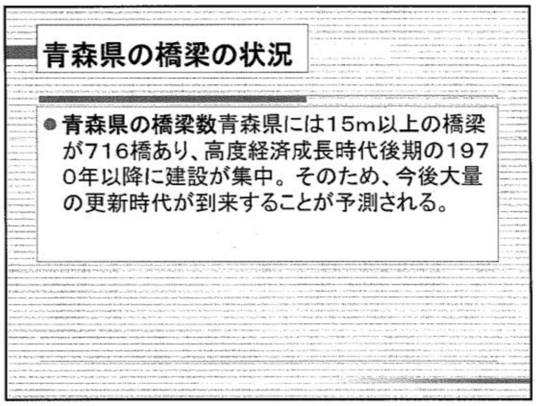
● 効率的維持管理を若手の職員が中心となって提唱
● 県では今後50年間に予防保全（予防的維持管理）により1200億円を節約できることが判明
● 財政もさることながら安全性が守られる

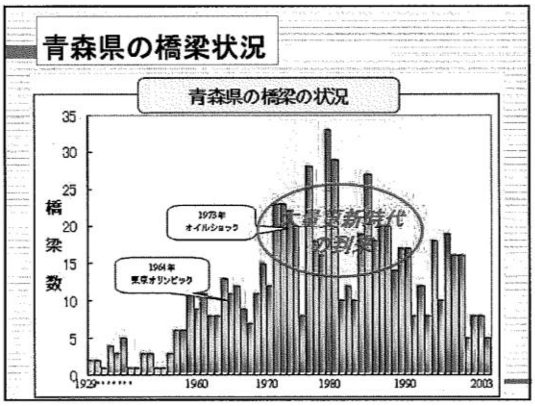
77

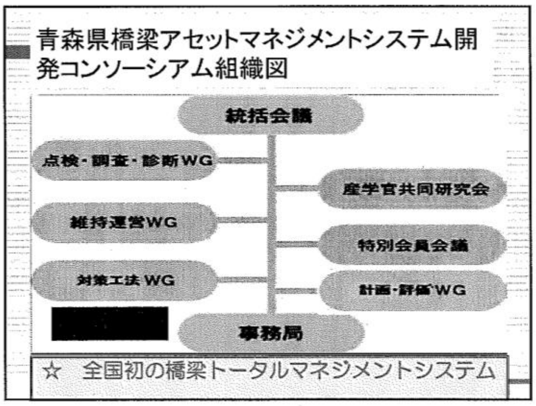
青森県の橋梁アセットマネジメント

★ システム開発コンソーシアム
委員長　京都大学渡邊名誉教授
副委員長 京都大学小林教授
委　員　橋梁エクスパートエンジニ ア5名










渡邊委員長、小林副委員長による三村申吾青森県知事への報告(平成17年11月10日(木))


東奥日報 2005年(平成17年) 11月11日 金曜日

県内の橋 効率的に管理すれば…

最大1200億円投資削減

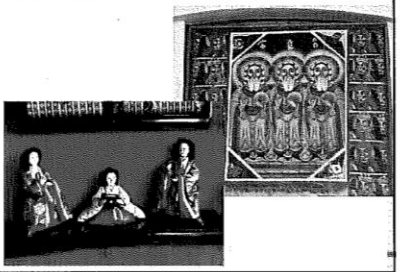
産学官グループ 知事に試算報告

三村知事らにコンソーシアムの検討内容を報告する渡邊委員長

エピソード

- 三人の若手県職員（三賢人？三銃士？三人冠者？）のパワー（意欲）と熱意

☆
☆ ☆



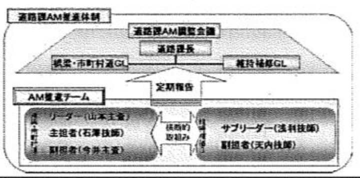
エピソード

- 五人の橋のエクスパート（五人囃子？）による劣化予測の貢献
- 何と言われようが、私はこう思う！

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

県の推進体制について

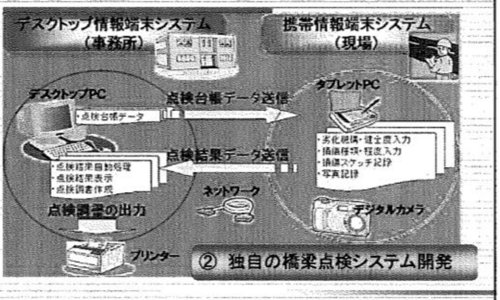
- 目的先進的取組みである「アセットマネジメントシステム」の構築を若手職員のパワー（意欲）をフル活用し、積極的に推進するため、「アセットマネジメント推進チーム」を設置。



1 青森県橋梁アセットマネジメントシステム

① 専門家による綿密な検討

独自の橋梁点検システム

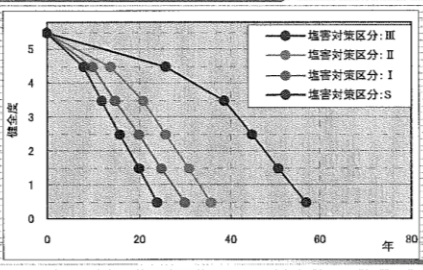


独自の橋梁点検システム

★ **青森県橋梁点検支援システム**
- タブレットPCによる現場作業
- 点検調書の自動作成
- 点検コストの大幅な削減

独自の劣化予測式

③ 1000種超の独自の劣化予測式等



独自の劣化予測式

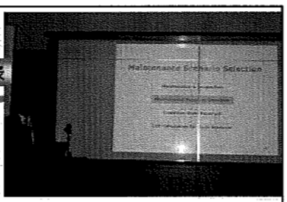
★ 独自劣化予測式等

- 熟練エンジニア（五人囃子）の知見に立脚
- 1022種の独自の劣化予測式
- 1650種の独自の対策工法

☆　☆　☆　☆　☆

若手職員による

④ 国際学会等での積極的発表



★ 国際学会等でも発表し好評

- ライフサイクルサイエンス・エンジニアリングに関する国際学会
- 日本道路会議
- 土木学会アセットマネジメント小委員会

2 県職員研修など人材育成等の取り組み

☆ システムを支える人材育成と効率的組織体制

① 県若手職員対象の研修会

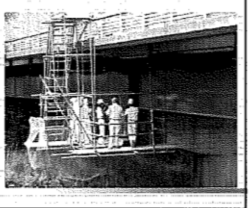
★ 橋梁設計研修会

- 橋梁の新設設計実務
- 職員自らが企画運営

県職員研修など人材育成等の取り組み

★ 橋梁補修設計研修会

- 橋梁の補修設計実務
- 職員自らが企画運営



② 県内建設関係業者対象の研修会

- ★ 橋梁補修技術研修会
- 県内建設業者対象
- メンテナンス技術習得

- ★ 橋梁点検技術研修会
- コンサルタント対象
- 橋梁点検技術習得

③ 劣化等に関する産学官共同研究会

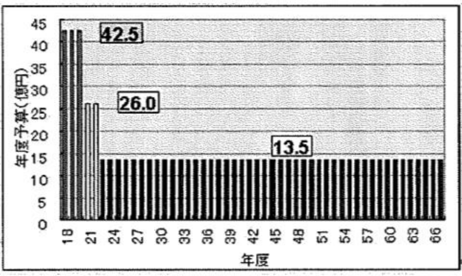
- 弘前大・キタコンチーム
  - ◆凍結防止剤（塩）による劣化に関する研究
- 八工大・コサカ技研チーム：
  - ◆振動計測による劣化損傷の把握に関する研究

50年間投資計画シミュレーション結果

県民に対して存在価値を示せ！
もっとアピールをするのだ！

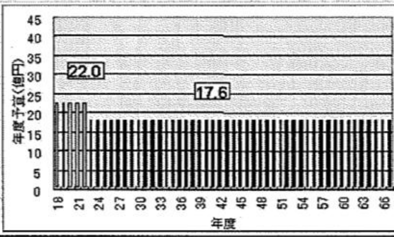
① LCC最小

- 1～3年目　42.5億円
- 4～5年目　26.0億円
- 6年目以降　13.5億円
- LCC＝787億円



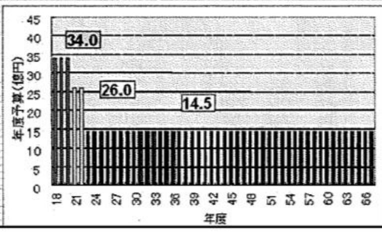
② 現行予算＋5億円（架替から）

- 1～3年目　22.0億円
- 4年目以降　17.6億円
- LCC＝902億円



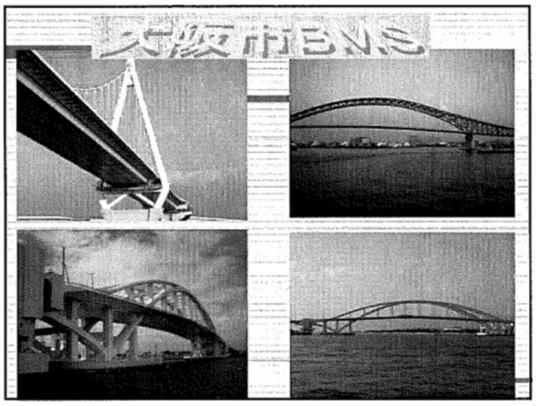
③ ①と②間で増額効果最大

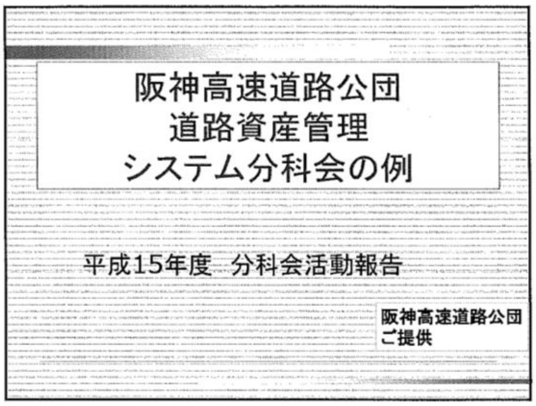
- 1～3年目　**34.0億円**
- 4～5年目　**26.0億円**　LCC＝807億円
- 6年目以降　**14.5億円**

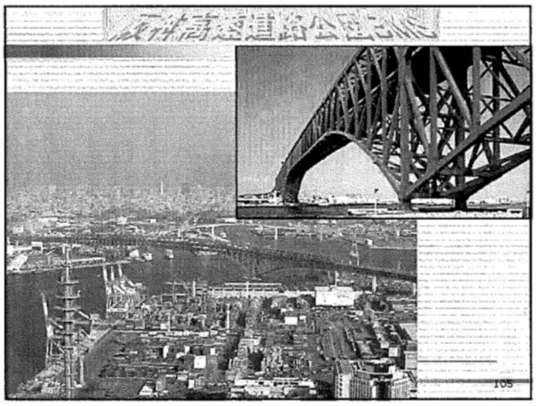


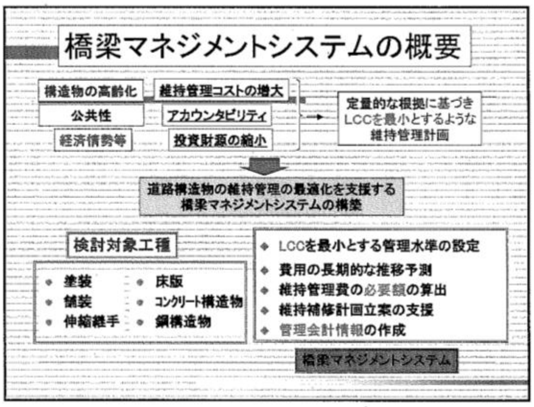
まとめ

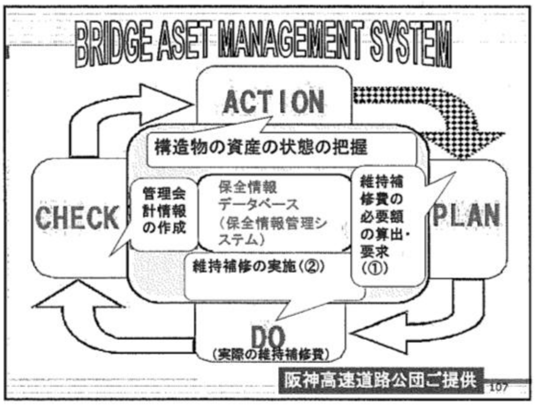
- 青森県のAMは「実践可能な一つの道筋をつけた」
- 若手の県職員が中心となり、世に橋梁の維持・管理の緊急性を訴え同時に県知事を説得し、AMを構築し、また、診断技術者の訓練、対社会広報など行政として積極的対策を立てた.
- 青森県民・全国民の「橋というインフラ」の維持・管理の経済的負担を格段に低減できるを立証. 他の全国の地方公共団体などにも自覚と刺激を与えた。

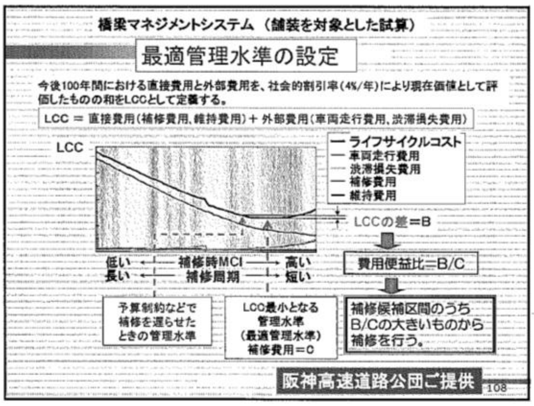

大阪市BMS


阪神高速道路公団
道路資産管理
システム分科会の例
平成15年度 分科会活動報告
阪神高速道路公団
ご提供


105


橋梁マネジメントシステムの概要
構造物の高齢化
維持管理コストの増大
公共性
アカウンタビリティ
経済情勢等
投資財源の縮小
定量的な根拠に基づき
LCCを最小とするような
維持管理計画
道路構造物の維持管理の最適化を支援する
橋梁マネジメントシステムの構築
検討対象工種
塗装
舗装
伸縮継手
床版
コンクリート構造物
鋼構造物
LCCを最小とする管理水準の設定
費用の長期的な推移予測
維持管理費の必要額の算出
維持補修計画立案の支援
管理会計情報の作成
橋梁マネジメントシステム


BRIDGE ASET MANAGEMENT SYSTEM
ACTION
構造物の資産の状態の把握
CHECK
管理会計情報の作成
保全情報
データベース
（保全情報管理システム）
維持補修費の必要額の算出・要求
（①）
PLAN
維持補修の実施（②）
DO
（実際の維持補修費）
阪神高速道路公団ご提供
107


橋梁マネジメントシステム（舗装を対象とした試算）
最適管理水準の設定
今後100年間における直接費用と外部費用を、社会的割引率（4%/年）により現在価値として評価したものの和をLCCとして定義する。
LCC ＝ 直接費用（補修費用、維持費用）＋ 外部費用（車両走行費用、渋滞損失費用）
LCC
ライフサイクルコスト
車両走行費用
渋滞損失費用
補修費用
維持費用
LCCの差＝B
低い ← 補修時MCI → 高い
長い ← 補修周期 → 短い
費用便益比＝B/C
予算制約などで
補修を遅らせた
ときの管理水準
LCC最小となる
管理水準
（最適管理水準）
補修費用＝C
補修候補区間のうち
B/Cの大きいものから
補修を行う。
阪神高速道路公団ご提供
108

おわりに

- 人や物資の流れを阻害せずいつも橋がはつらつと存在し、それを人々が日々利用できることが何よりであります。その意味では橋は人体で言えば血管の一部です。
- 橋は住民の財産であり、空気のように自明で、社会を根底から支える極めて必要欠くべからざる存在であり、いわば、社会にとって生命を営む上で基幹的な臓器です。

- 私どもはこれを幾久しく大切にして健康に維持せねばなりません。橋のAMSはそのためのシステムであります。人間の悲しい性として、万事大きな犠牲を払って初めて失ったものの大きさを知るのです。阪神淡路大震災しかり、スマトラ沖大地震・大津波しかり、東日本大震災しかりです。

- あのときこうしておけば良かったのにとか。アメリカ合衆国も1960年のオハイオ川ポイントプレザント橋の崩落事故まではしかりでした。でもその後は惨事を繰り返さないよう対策を練りました。橋の維持管理において我が国はアメリカ合衆国に大きく水を開けられています。BMSそのものだけでなく、社会全体に橋梁資産が国民全体の共有財産であるという意識がある点我が国とは全く異なるといえます。

詳細⑬：駒井ハルテック技報（vol.1.2011）投稿

橋の安全性・破壊確率について

ー津波防潮堤の安全性にもふれてー

京都大学名誉教授
財団法人 大阪地域計画研究所 理事長
渡邊 英一

2011年3月11日に発生した東北地方大震災はまさに「低頻度大災害」の最たるもので，極めて広域にわたり震害や大津波により社会に深刻な人的・物的被害を与えた．

また，自然災害の圧倒的猛威の前に私たちの社会基盤は果して安全なのかとの不安が国民のみならず世界中の人々の中に広がった．

同時に原子力発電所などに派生した二次的被害の凄まじさにも全世界は息を呑んだ．そして風評被害である．言うまでもなく，構造物の信頼性設計の根幹は安全性の確保である．

広辞苑を紐解くと「安全」とは安らかで危険のないこととなっている．また，安らかとはおだやかで，無事なさまを言い，心配なく心地の良いさまを言う．

さらに，危険とは危害または損失の生じる恐れのあることであり，これより，安全とは身体に危害が及ばず，しかも財産などの損失の恐れのない，おだやかで無事で心地よいさまを表現しているといえよう．

安全性についての定義を記載している公の国際規格の一つにIEC 62278があり，その中で安全とは許容できない危害が発生するリスクがないことと定義されており，また，対義語は危険性と記されている(http://www.tuv-sud.jp/railway/rams.html).

それでは安全性を計る指標として，(1) どの程度まで安全性を高めるべきか，(2) 如何にして安全性を改善できるかの2つが基本となる．どの程度まで安全性を高めればよいのかについて考えると，危険な状態を一切排除し，安全性を際限無く高めると良いように思える半面，そうすると天文学的な高コストとなる．さらには安全の名の下に人々の自由が束縛され，社会活動・財政も阻害される．したがって如何にして人間的な生活を存続しつつも危害を排除できるかが目標となる．人々は新技術の開発される都度，それを安全に使いこなすために長い年月をかけて経験を積み，危険を回避する術を覚えてきた．

このように安全性とは広く深い意味を持っているのでここでは橋のような社会基盤に限定して話を進めてみたい．

いま，橋の群があり，そこでの安全通行を考えよう．この群の中の一橋が交通不能の状態にあるとすれば**図-1 (a)**のように，橋が並行して架かっている場合は安全な橋を選択して通ればよい．このような橋のグループをフェイルセーフ系と呼ぶ．これに対し**図-1 (b)**のように，橋が直列に続いている場合はその中の一つでも交通不能の場合交通は遮断される．このような橋のグループをウィーケストリンク系と呼ぶ．

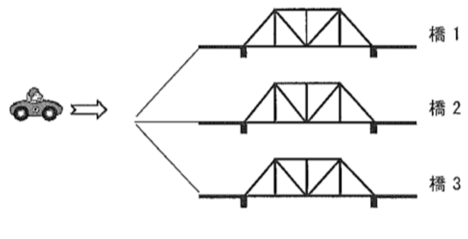
したがって，仮に一つの橋が通行不能でも通れる場合とそうでない場合があることが分かる．なお，この議論は橋だけに限定するだけではなく，構造部材についても言える．

すなわち，図-1 (a)は不静定構造などの冗長性のある構造，図-1 (b)は静定構造の話でもある．さらには一般的には図-1 (a)，図-1 (b)が組み合わさった構造であることが多い[1]．

また，図-2 に示されているように，橋の材料の破損劣化特性にしても破損することによって図-2 (a)の単に復元力（強度）が保持されつつ変形が進行するような比較的安全な場合（延性破壊）と図-2 (b)の破損によって急激な強度低下を招く場合やケーブルの切断のように抵抗強度が瞬時にゼロとなるような危険な場合（脆性破壊）がある．

以上の 2 つの話題からわかるように，一口に破壊といっても局部的にはいざ知らず，全体に与える影響が軽微な場合と深刻な状態に直結する場合があり，後者の場合は例えば落橋のような深刻な状況に繋がることが予測される．

しかも始末に負えないのは橋や構造体は当初冗長性を持っていたとしても，老齢化すれば益々性能が劣化その他の原因で構造がドミノ的（連鎖反応的）に破壊が進行し，崩壊することもあるので怖い．



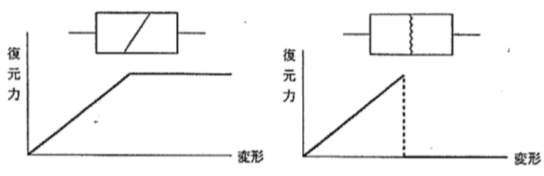
(a) フェイルセーフ系

(b) ウィーケストリンク系

図-1 フェイルセーフ系とウィーケストリンク系の橋の群

つぎに橋の安全性に関わる設計法の現状を考えてみよう．

現在の構造設計は設計基準として「性能規定」もしくは「仕様規定」を満足するように設計が行われている．性能規定は構造物の目標性能を確保するための規定であるのに対し，仕様規定は各種構造に対応させて，形式や種別を分類し，それぞれについて仕様を満足させるような設計法である．しかし，後者の仕様だけでは目標とする性能がどのように確保されるのかが必ずしも明確でなく，各種の荷重や外力に対する安全性も不明確である．因みに我が国では道路橋示方書等 [2,3]は性能照査型のフォーマットに従って改訂されたものの，安全性，使用性の記述については統一性に欠けるきらいがあり，この十年来これらの克服を目指し，早期の改訂に向けて作業が続けられている．



(a) 延性モデル　　(b) 脆性モデル

図-2 延性モデルと脆性モデル

ここでは特に橋梁の維持・管理のあるべき姿について性能・財産の維持という観点から考察してみたい．

橋の安全性を損なう直接原因としては大きな外力作用によるものと橋の構造や材料の欠損によるものに大別できる．外力作用の例としては平成 7 年に起こった阪神大震災の直下型大地震や上述のような東日本大震災の際の大地震と大津波がある．

構造・材料の欠損の例としては疲労亀裂，低温脆性による亀裂，腐食・劣化，座屈などによる不安定現象，大変形，塑性流動，クリープ変形，橋脚基礎の洗掘などがある．

図-3 は落橋事故の原因となる現象をまとめたものである．外力作用に関しては大地震，大津波などの例から判るようにこれらの自然現象のもつエネルギーの大きさや発生場所，頻度などの統計データがよく分からないことが少なくないし，造った橋にしてもどの程度の統計的バラツキがあるのかよく分からないことが多いので信頼性の評価は総じて容易ではない．

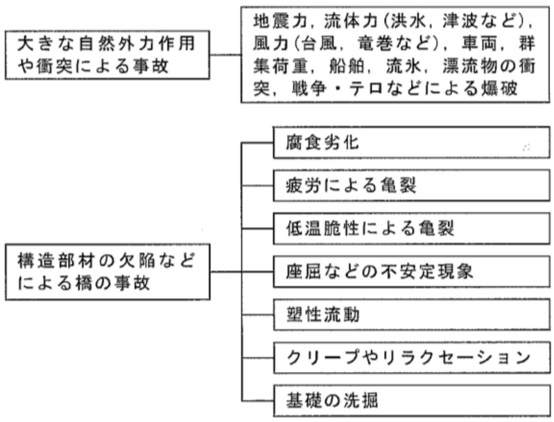


図-3 落橋事故の原因となる現象[4]：外力の作用と構造部材の欠陥に大別

構造物の信頼性設計法を大別すればいわゆるレベルⅠ，レベルⅡおよびレベルⅢの手法に分かれている[5,6]．

図-4 に示されたレベルⅠ設計法は後から説明されるレベルⅡあるいはレベルⅢによる信頼性設計法の計算結果を踏まえてキャリブレーションを施した安全係数（荷重係数および抵抗係数：材料強度係数，構造物係数等）を用いて安全性を確保するやり方である．

ここでの重要なのは統計的バラツキを有する荷重 F と構造物の強度 f の 2 つの概念である．当然ではあるが，荷重 F は強度 f を超えることは許されない．さもなければ損傷を受けたり，破壊し構造物は存在しなくなることだってある．荷重や強度は本質的にバラツキをもって変動するものである．

したがって荷重を強度に比較して十分に小さく見積もっていても思わぬ統計的バラツキによって両者がギリギリに接近したり，あるいは逆転することもあるので怖い．

このため統計的バラツキを考慮して荷重と強度の両者を十分にかけ離すことが行われる[8]．

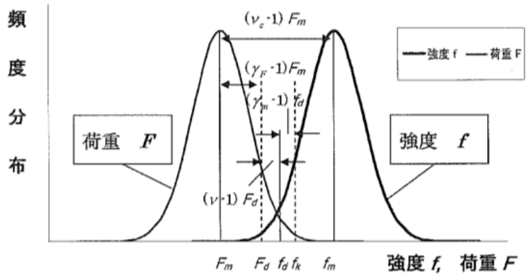


図-4 安全係数（荷重係数，抵抗係数＝材料強度係数，構造物係数等）を用いて安全性を評価する手法．レベルⅠ設計法（安全係数による設計法）

荷重と強度は統計量であり，荷重の統計値は偏に観測によって計測されねばならないし，強度の統計値については実験（できれば実物大）によって把握するしかない．その観測や実験の統計量を分析して期待値（平均値）ならびに標準偏差を決定することになる．そのようにして得られた期待値を F_m および f_m とする．荷重については期待値 F_m をそのまま荷重特性値とし，強度 f_m については例えば定められた材料強度試験法による統計的バラツキを想定した上で，試験値がそれを下回る確率（非超過確率という）がある一定値（例えば 5%）以下の強度の値を強度の特性値 f_k と見なすことがよく行われる．（正規分布を仮定すると 5%非超過確率を想定して：$f_k=f_m(1-k\,V_f)$：$k=1.64$）．ここに，材料強度の標準偏差を σ_f，その変動係数を $V_f\,(=\sigma_f/f_m)$ とする．

このようにして，F_m および f_k の値を特性値として設計荷重を $F_d=F_m\,\gamma_F$ により，また設計材料強度を $f_d=f_k/\gamma_m$ により決定する．そのとき安全性の余裕としての抵抗係数 γ_m および荷重係数 γ_F はそれぞれ 1 以上の大きな値を与えて設定することが多い．

そして設計荷重 F_d と設計強度 f_d の比である安全率は $\nu = f_d / F_d$ として設定する．この安全率は中央安全率といわれる値 $\nu_c = f_m / F_m$ とは全く異なることに注目せねばならない．このような係数の γ_F，γ_m，ν を如何に合理的に決定するかは重要である．このうち，荷重係数 γ_F は荷重の特性値からの望ましくない方向への変動，荷重の算出方法の不確実性，荷重特性が限界状態に及ぼす影響，環境作用の変化等を考慮するための安全係数であり，その値は例えば**表-1** のとおりである [8]．また，材料係数 γ_m は材料強度の特性値からの望ましくない方向への変動，供試体と構造物中との材料特性の差異，材料特性が限界状態に及ぼす影響，材料特性の経時変化を考慮するための安全係数であり，**表-2** にその値の例を示す [8]．

表-1 荷重係数 γ_F [8]

限界状態	荷重の種類	荷重係数 γ_F
終局限界状態	永久荷重	1.0～1.2 または 1.0～0.8 （小さい方が不利なとき）
	主たる変動荷重	1.1～1.2
	従たる変動荷重	1.0
	偶発荷重	1.0
使用限界状態	すべての荷重	1.0
疲労限界状態	すべての荷重	1.0

表-2 材料係数 γ_m [8]

材料の種類	限界状態	材料係数 γ_m	
鋼材 (m=s)	終局限界状態	γ_s	1.0～1.05
	使用限界状態		1.0
	疲労限界状態		1.0～1.05
コンクリート (m=c)	終局限界状態	γ_c	1.3
	使用限界状態		1.0
	疲労限界状態		1.3

図-5 に示すレベルⅡの設計法は二次モーメント法により荷重や強度の期待値と標準偏差を用いて信頼性指標 β を算出し，正規確率分布を仮定して比較的簡単に破壊確率を算出しようとするものであり [1,7]，例えば許容信頼性指標以上の指標を確保することを目標とする設計体系となる．

レベルⅡの設計法のフォーマットに従って設計したときの構造物の破壊確率がどのような値をとるかの目安を得るため計算してみよう．これは**図-4** のレベルⅠ，すなわち，準確率論的手法に従った設計法になるが**表-1** の荷重係数 γ_F と**表-2** の材料係数 γ_m を参照すれば，余裕代である積 $\gamma_F \cdot \gamma_m$ の値が 1.0～1.56 であることを踏まえさらに，荷重と材料強度の確率分布が正規確率分布に従うと仮定して荷重の標準偏差を σ_F，その変動係数を V_F $(=\sigma_F / F_m)$，ならびに材料強度の標準偏差を σ_f，その変動係数を V_f $(=\sigma_f / f_m)$ とする．拡張二次モーメント法(Advanced First-Order Second-Moment Method, AFOSM)によれば荷重と材料強度それぞれが正規分布すると仮定すれば信頼性指標 β ならびに破壊確率 P_f は Φ を標準正規分布関数として以下の式で表せる [1,7]．

$$\beta = \frac{f_m - F_m}{\sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_f^2}} = \frac{\nu_c - 1}{\sqrt{V_F^2 + \nu_c^2 V_f^2}}$$

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad ただし \quad \beta > 0 \qquad \cdots 式(1)$$

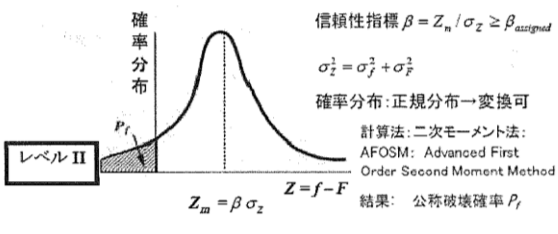


図-5 拡張二次モーメント法(AFOSM)により荷重や強度の期待値と標準偏差を用いて信頼性指標を算出し，正規確率分布を仮定して破壊確率を概算する手法．レベルⅡ設計法

表-3(a), (b) は正規分布を仮定したときの信頼性指標 β と破壊確率 P_f の概算値を**式(1)**によって計算した結果を示している．当然ながら余裕代 $\gamma_F \cdot \gamma_m$ の値が大きければ大きいほど β の大きさは大きくなり，破壊確率 P_f の値は小さくなる．

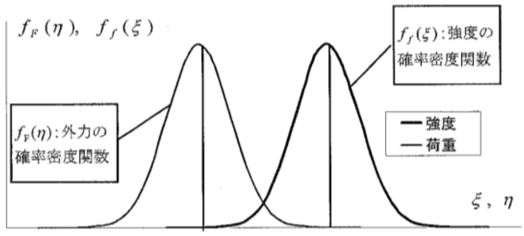
表-3(a) k=1.64(非超過確率 5%)のときの安全率 ν, 中央安全率 ν_c, 信頼性指標 β および破壊確率 P_f の値(正規分布を仮定：$\gamma_m \cdot \gamma_F$=1.0 のとき)

V_F	V_f	ν	ν_c	β	$\Phi(\beta)$	P_f=1-$\Phi(\beta)$
0.1	0.05	1.0	1.089	0.78	0.78	0.22
		1.1	1.198	1.70	0.955	0.045
		1.2	1.307	2.57	0.9953	0.0047
		1.3	1.416	3.40	0.9997	0.0003
		1.4	1.525	4.18	0.999985	0.000015
		1.5	1.634	4.91	0.99999954	0.00000046
		1.6	1.743	5.60	0.999999989	0.0000000107
		1.7	1.852	6.25	0.9999999999	0.0000000002
		1.8	1.961	6.86	0.9999999999	0.0000000000
0.2	0.1	1.0	1.196	0.84	0.8	0.2
		1.1	1.316	1.32	0.906	0.094
		1.2	1.435	1.77	0.962	0.0385
		1.3	1.555	2.19	0.986	0.0142
		1.4	1.675	2.59	0.9951	0.00485
		1.5	1.794	2.96	0.9984	0.00156
		1.6	1.914	3.30	0.99952	0.000481
		1.7	2.033	3.62	0.99985	0.000145
		1.8	2.153	3.92	0.999956	0.0000436
		1.9	2.273	4.20	0.9999778	0.0000222
参考の値 *Dan Frangopol らによればこの値に達すれば事後保全を開始すべきとのことである。				1.0	0.841	0.159
				2.0	0.9772	0.0228
				3.0	0.99865	0.00135
				4.0	0.9999683	0.0000317
				4.6*	0.99999785	0.00000215
				5.0	0.999999702	0.000000298
				6.0	0.999999999	0.0000000000

表-3(b) k=1.64(非超過確率 5%)のときの安全率 ν, 中央安全率 ν_c, 信頼性指標 β および破壊確率 P_f の値(正規分布を仮定：$\gamma_m \cdot \gamma_F$=1.2 のとき)

V_F	V_f	ν	ν_c	β	$\Phi(\beta)$	P_f=1-$\Phi(\beta)$
0.1	0.05	1.0	1.307	2.57	0.995	0.0051
		1.1	1.438	3.56	0.99981	0.000189
		1.2	1.569	4.47	0.9999616	0.0000384
		1.3	1.699	5.33	0.999999951	0.0000000494
		1.4	1.830	6.12	0.999999999	0.0000000000
		1.5	1.961	6.86	0.9999999999	0.0000000000
		1.6	2.092	7.54	0.9999999999	0.0000000000
		1.7	2.222	8.18	0.9999999999	0.0000000000
		1.8	2.353	8.76	0.9999999999	0.0000000000
0.2	0.1	1.0	1.435	1.77	0.962	0.0384
		1.1	1.579	2.27	0.9884	0.01154
		1.2	1.722	2.74	0.996902	0.0030981
		1.3	1.866	3.17	0.99922739	0.000772613
		1.4	2.010	3.56	0.999815123	0.000184877
		1.5	2.153	3.92	0.999956418	0.0000435824
		1.6	2.297	4.26	0.999989666	0.0000103339
		1.7	2.440	4.56	0.999997496	0.00000250385
		1.8	2.584	4.85	0.999999373	0.000000627171

また，**図-6** に示すレベルⅢは例えば原子炉等，極めて重要でその破壊の社会に及ぼす影響が甚大とみなされるような構造物の場合，厳密な確率密度関数を用い厳密に多重積分することによって破壊確率を算出するものであり，破壊確率値を許容確率値以下に収めようとする設計となる [5,6] (Full-distribution method[7]).



$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_F(\eta)d\eta \int_{-\infty}^{\eta} f_f(\xi)d\xi$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} f_F(\eta)F_f(\eta)d\eta \le P_{allowable}$$

図-6 厳密な確率密度関数を用い厳密に多重積分することによって破壊確率を算出する手法．レベルⅢ設計法(Full-distribution method)

しかしながらレベルⅢの適用に関しては変数が多い場合多重積分に当たり積分領域が複雑になり，この分野に詳しくない筆者にはどうも実際上実用的とは思えない．

図-7 は信頼性指標 β と破壊確率 P_f = 1-$\Phi(\beta)$ の関係を示している．

更に**図-8(a)** は破壊確率 P_f の値の安全率 ν による変化を，また，**図-8(b)** は信頼性指標 β の安全率 ν による変化を示している．

ν の値についてはわが国の橋梁の設計においては伝統的に 1.7 が用いられてきたが，対応する破壊確率の値からも結構合理的な値であるように思える．

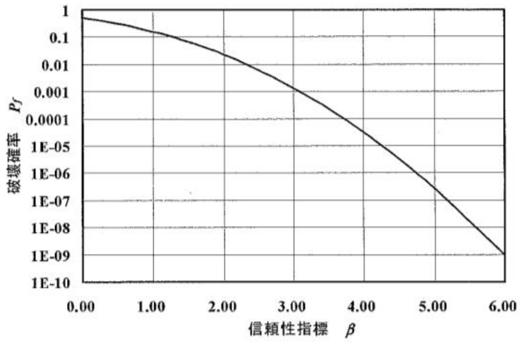
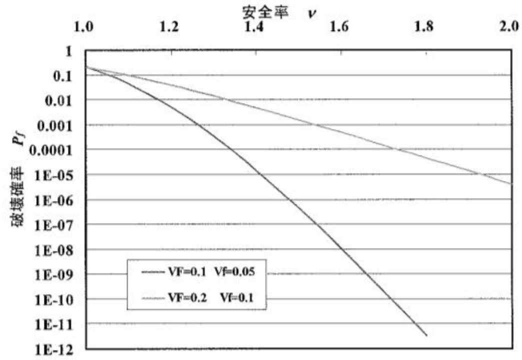
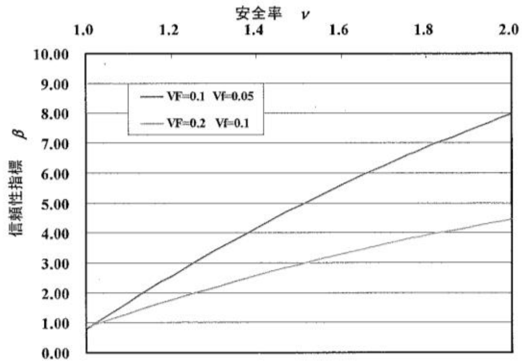


図-7 信頼性指標と破壊確率の関係



(a) 破壊確率 P_fの値



(b) 信頼性指標βの値

図-8 k=1.64(非超過確率 5%)のときの安全率ν, 中央安全率ν_c
信頼性指標βおよび破壊確率 P_f の値
(正規分布を仮定：γ_m・γ_F=1.0 のとき)

以上，設計における橋梁の性能について述べてきたが，最近橋梁の経時的劣化状況について興味ある情報が得られている．

D. Frangopol P. や Thoft-Christensen らの，主として英国のコンクリート橋などに関する調査結果を基にした研究により，信頼性指標βが時間の経過とともに低下してゆくありさまが明らかになった．得られた結果を要約すれば以下のとおりである[9,10]．

(1) 信頼性指標βの橋梁完成時の値β(0)は 5～12 程度の値を持つ．
(2) 信頼性指標βが 4.6 を下回ると事後保全型維持管理 (essential maintenance) を行わなくてはならない．
(3) そこまで落ち込むまでに予防保全型維持管理 (preventive maintenance) を行い体質改善によって劣化の進行を抑制するとよい．

さて，いままで橋の性能照査型設計について述べてきたわけであるが横着にも専門とはおよそかけ離れた津波ハザード解析の真似ごとをしてみたい．

平成 23 年 4 月上旬に東日本大震災の津波被災地現地を調査した土木学会総合構造物班（調査責任者：丸山久一・長岡技術科学大教授）によると，津波で堤防が決壊し河川が氾濫した原因は，堤防を越えた水がコンクリートやブロックで護岸されていない外側の盛り土を削ったのが響いたとする分析を，2011 年 8 月 7 日にまとめた．
(http://mainichi.jp/select/weathernews/20110311/archive/news/2011/05/14/20110514k0000e040058000c.html)．

高知大総合研究センター防災部門の原忠（ただし）准教授（地盤工学）によると，被害で目立ったのは堤防を乗り越えた波が壁の背後に回り込み，基礎部分をえぐる洗掘現象であるという．堤防は洗掘で陸側の土台がえぐられて支えを失ったうえ，水没したことで浮力が働き不安定になり，さらに津波で

海面が上昇したことで，堤防の上部が海側から押され，容易に転倒したとのこと．内陸へ押し寄せる「押し波」は，やがて海側へ引いていく「引き波」となる．

東京大地震研究所の都司嘉宣（つじ・よしのぶ）准教授（津波工学）は，引き波による被害も大きかったと指摘する．事実押し波には耐えたが，引き波で壊れた防潮堤もあった．防潮堤は底面の滑りと転倒によって最終的に崩壊するとのことであるが，ともかく最初に津波が防潮堤を越波することからそもそもの悲劇が始まることは間違いなさそうである．

津波ハザード曲線は縦座標として年超過確率，横座標として津波高さをとって描かれる曲線である．勿論，周辺海域の地理的情報，地震断層の位置,地震の規模，破壊開始点および破壊，断層の不均一性などがあり，多くの不確定要素が絡まるので厳密な曲線を表示することは極めて難しく実際巨大津波の事例は極めて限られているようである．

そこで，津波が上記のように，地理的条件，地震断層の位置，地震の規模，断層の不均一性などの要因に左右されるが，ここでは素人のあつかましさで乱暴にもごく簡単に考えて，どこに津波が起こるかわからないが兎に角，世界のどこかで起こるとして津波の再現期間(Return Period)と予想される津波の高さを類推してみよう．

そこで，吉田等[11)]のハザード曲線に習い，縦座標 y として常用対数：$y=\log(1/T)$，ここに T は再現期間(return period)であるから，$1/T$ は年発生超過確率を意味する．いま簡単のため $T=T_o$(最大津波波高の再現期間)で $H=H_o$ とする．そうすれば

$$\frac{H}{H_o}=\frac{\log T}{\log T_o}=\frac{\log(1/T)}{\log(1/T_o)} \qquad \cdots 式(2)$$

式(2)ならびに図-9 は $\log(1/T)$と H の関係を与えるものでいわゆるハザード曲線を意味する．ハザード曲線によって年超過確率より津波高さを予測することあるいはその逆の予測ができることになる．

このような関係を用いると再現期間の変動係数と最大津波高さの変動係数の関係を用いて津波に対する防潮堤の信頼性を評価することができる．

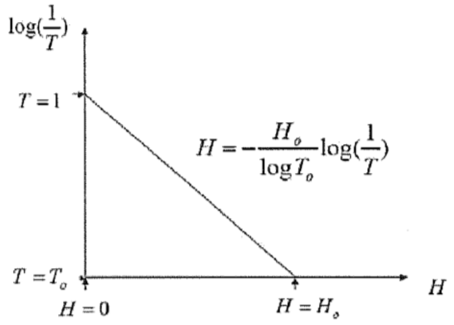


図-9 $\log(1/T)$と H の関係を示すハザード曲線

さらに，具体的に例えば東日本大震災に類似した貞観地震（西暦 869 年 M8.3）のような 1000 年に一回の大地震の事例を参考にして[12)]，例えば T_o=800 年，H_o=30m とすれば，10 年のときは H=10.3m，20 年のとき H=13.4m，30 年のとき H=15.3m，50 年のとき H=17.6m，100 年のとき H=20.66m となる．なお，$1/T$ は年超過確率であるが，再現期間を T_0 年とすればそれまで Q 年間に何時起こるかは分からないが兎に角一度はこの再現期間をもった津波の発生する確率 P_r は

$$P_r=1-\left(1-\frac{1}{T_o}\right)^Q \qquad \cdots 式(3)$$

となる．

因みに先程の例では T_o=800 年であるからそれぞれの Q に対し，表-4 のように計算できる．

表-4 Q 年間の間に少なくとも一度は生じると考えられる津波の起こる確率（例：T_o=800 年）

Q (Year)	10	30	100	500	800
P_r	0.012	0.037	0.118	0.465	0.632

図-10 は再現期間 T_o (1 年～10000 年)ならびに Q の値を変化(1,2,3,10,30,100,500 年)させたとき Q 年間の間に少なくとも 1 度は津波の生じる確率を図示したものである．Q は耐用あるいは供用期間とでも考えればよい．この図より，供用期間 Q が長ければ長いほど当然ながら，津波発生確率は高くなり，例えば期間 Q が再現期間 T_o ほどの長さになると 60％以上の確率で世界のどこかで津波が起こる可能性があることがわかる．さらに，再現期間 T_o の 1/10 程度の期間 Q では凡そ 10％の確率で津波が発生することがわかる．

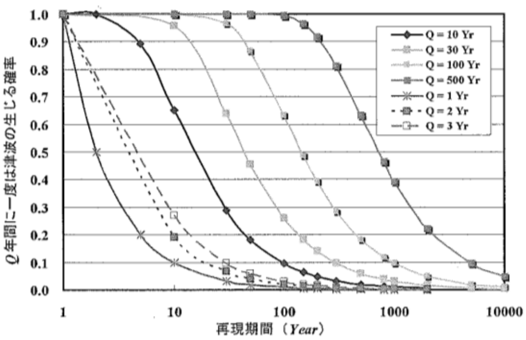


図-10 供用期間の Q 年間に津波の生じる確率．
Q=1，2，3，10，30，100，500 年．

以上外力としての津波の再現性について述べた．つぎに防潮堤を超える津波の安全性について構造物の安全性を考えた方法を参考にして考えてみよう．防波堤の堤体は所定の安全率（滑動および転倒に対して 1.2 以上）を持つように設計されてきた．

ここではこのような専門家の論文と比べるべきもなく，お粗末なもので恐縮ではあるが，ごく簡単な考察によって極めて初歩的な安全性評価なるものを試みよう．

いま防潮堤の高さを d, 津波の高さを H としたとき安全性のマージン Z の概念は

$$Z = d - H \geq 0 \qquad \cdots 式(4)$$

で表せる．

現在この安全率すなわち設計上 d を H の何倍に取るかということについて調べてみたところ，どうも 1.0 のようであり正直驚いている．構造工学を専門としているものにとっては不思議としか言いようが無い．

既に述べたように，AFOSM(Advanced First Order Second Moment Method)によれば安全性のマージン Z, d, H の期待値をそれぞれ，μ_Z, μ_d, μ_H, 標準偏差をそれぞれ，σ_Z, σ_d, σ_H, H の変動係数を V_H とすると信頼性指標 β として以下の定式化が考えられる．

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_d - \mu_H}{\sigma_Z} = \frac{\mu_d - \mu_H}{\sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_H^2}} \\ &= \frac{\mu_d/\mu_H - 1}{\sqrt{\sigma_d^2/\mu_H^2 + \sigma_H^2/\mu_H^2}} \\ &= \frac{\nu_d - 1}{(\sigma_H/\mu_H)\sqrt{\sigma_d^2/\sigma_H^2 + 1}} \\ &= \frac{(\nu_d - 1)}{V_H\sqrt{\sigma_d^2/\sigma_H^2 + 1}} \\ &= \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + V_H^2}} \qquad \cdots 式(5)\end{aligned}$$

ここに，$\nu_d = \mu_d / \mu_H$ は防潮堤の安全率である．この式の形は式(1)のそれと基本的には一致する．津波高さ H, 防潮堤高さ d, ν_d が以前の議論ではそれぞれ外力 F, 構造物の抵抗強度 f, そして中央安全率 ν_c に対応することになる．ここで，津波高さ H の変動係数 V_H を式(2)を使って津波の再現期間 T_0 ならびに津波再現期間の変動係数 V_T により表わせば信頼性指標 β は最終的に以下の式で表せる．

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + V_H^2}} \\ &= \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + \left(\dfrac{V_T}{\log T_o}\right)^2}} \qquad \cdots 式(6)\end{aligned}$$

実際に数値的に確かめてみよう．V_T=0.2 および V_T=0.3 の場合について信頼性指標βと破壊確率 P_f を計算してみた．

図-11 には津波越波によるによる信頼性指標βの計算結果を示す．また，**図-12** は同じく破壊確率 P_f の計算結果を示す．

防潮堤はその滑動に対して通常安全率 1.2 で設計されているようであるがこの計算例からもこの 1.2 の値はやや低すぎる嫌いがあるようであり，信頼性指標も 1.2 から 1.4 程度で同様に低いようである．

無論現在の有史以来の津波最高位を想定される限界とする津波越波に対する安全率 1.0 は専門外の人間にとっては信じられないほど途方も無く低すぎるように思われる．すなわち信頼性指標は 0 近くの値となり，破壊確率は 0.5 位の高い値となる．つまり，設計津波が襲ってくると 50%の確率で決壊するという恐ろしいことになる．よしんば安全率を 1.2 のように少々上げたとしても破壊確率はほぼ 0.1，すなわち，10%となり恐ろしい．

また，再現期間 T_o の変動係数 を 0.2～0.3 に設定しているがもともと正確なものではないし，それ程非常識的な値ではないと考えられるし，防潮堤の変動係数 V_T については 0.1 と考えることについてもやはりそれ程非常識的ではなかろうと考える．

さらに，上と同じ条件：V_T=0.2，V_d=0.1 のもとで再現期間と予想津波高さならびに安全率を変化させたときの破壊確率を計算し，図表化すれば**図-13** のようになる．

繰り返すが，津波が防潮堤を越流することに対する安全率は 1.0 であるから，冒頭に述べたように，この越流した津波は防潮堤の背後に回りこみこの堤体の洗掘に発展してしまう．安全率を 1.2 としたとしても破壊確率は 0.1 あるいはそれ以上の大きなものになることがわかる．越流に対する安全率をもっともっと上げるべきであろう．

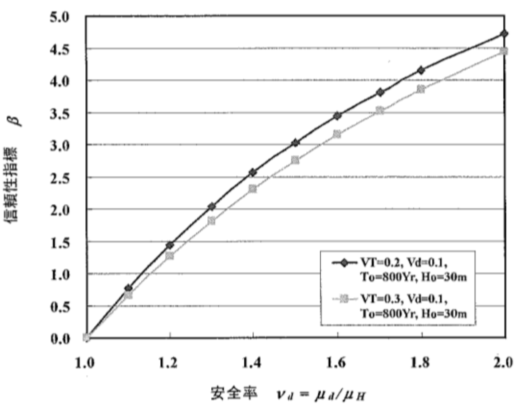


図-11 防潮堤の信頼性指標 β の計算例

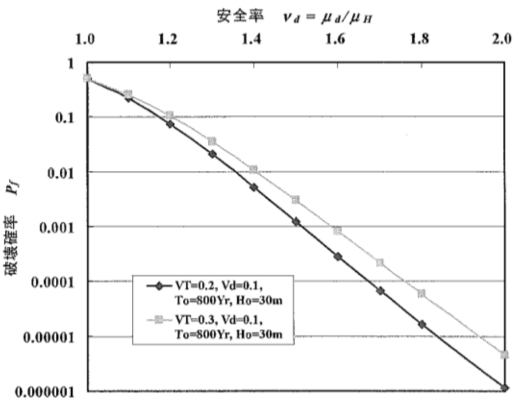


図-12 防潮堤の津波越波による破壊確率 P_f の計算例

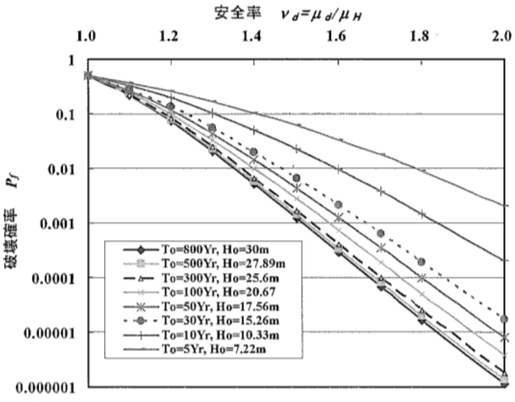


図-13 再現期間 T_o が変化したときの破壊確率 P_f の変化
(V_T = 0.2 , V_d = 0.1)

既に断っているように特定の漁港でどの程度の大津波に備えなければならないのかはこのような幼稚な論法では到底議論できない．何処にどの程度の高さの防潮堤を設けるべきなのかは繰り返し述べているように，地震断層の位置，地震の規模，破壊開始点および破壊，断層の不均質性などを考えた現実的なハザード曲線を考えねばならない．

最近では津波工学の目覚しい進歩により，そのような現実的な予測が可能となってきているように思える．しかし，これらの情報のバラツキも大きいから傍から見ても，中々正確なものを期待するのは難しいのではなかろうか．また，正確な研究成果が判明しなければ公共団体や政府は研究のための予算を確保することが難しいだろう．さらにこのような低頻度大災害にまともに対応するには例えば想像を絶する巨大な防潮堤を構築するなどの思い切った対応が要求される．その場合他の行政，例えば福祉行政など他の分野の予算を逼迫することになる．また，さらに困るのは果たしてこのような一見途方も無く大きく高い防潮堤だったら十分な安全性が確保できるかとなるとそうとも言い切れないのではないだろうか．つまり，想定外の大津波の可能性も将来に起こりうると思われる．

津波工学の全く門外漢の素人でありながら不遜で厚かましくも議論をしたことを心より反省するしだいである．願わくは許して頂ければ幸甚である．

なお，（株）駒井ハルテックの技報の記念すべき創刊号に論説として原稿を書くようにとご依頼を受けたがこのように身の程知らずの稚拙な草稿となってしまった．著者にとっては身に余る光栄であったが何卒ご勘弁頂きたい．

参考文献

1) Thoft-Christensen, P & Murotsu, Y. Application of structural systems reliability theory, Springer-Verlag, Berlin, 1986.
2) 道路橋示方書・同解説，日本道路協会，2002 年 3 月
3) 鋼道路橋の疲労設計指針，日本道路協会，2002 年 3 月
4) 田中輝彦・渡邉英一他，図解・橋の科学，土木学会関西支部編，ブルーバックス B1676，講談社，2010 年 3 月
5) Stahlbau Handbuch. Für Studium und Praxis, Stahlbau-Verlags-GmbH Köln, 1982.
6) Melchers, R. E., Structural reliability analysis and prediction, Ellis Horwood Ltd, 1987.
7) 篠塚正宣，Tan, R.，構造物の安全性・信頼性解析について(Stochastic characterization of loads and load combinations)，京都大学特別講演録，京都大学，1981 年 7 月
8) 鋼・コンクリート共通構造設計基準小委員会，鋼構造とコンクリート構造の限界状態設計法に関する共通の原則，土木学会論文集 No. 450/I-20, pp.13-20, 1992 年 7 月
9) P. Thoft-Christensen, Estimation of Bridge Reliability Distributions, Current and future trends in bridge design, construction and maintenance, Thomas Telford, 1999, pp. 15-25
10) Dan M. Frangopol and Parag C. Das, Management of bridge stocks based on future reliability and maintenance costs, Current and future trends in bridge design, construction and maintenance, Thomas Telford, 1999, pp. 45-58
11) 吉田郁政，武内大記，大森政則，藤井直樹，柳沢賢：津波漂流物による衝突ハザードの算定方法について，土木学会地震工学論文集，pp. 912-917，2007 年 8 月．
12) 澤井祐紀ほか，仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波－1611 年慶長津波と 869 年貞観津波の浸水域－，地質ニュース 624 号 2006 年．

The Twenty-Fourth KKCNN Symposium on Civil Engineering
December 14-16, 2011, Hyogo, Japan

Safety Features in Japanese Design Specifications of Bridges and Breakwaters

Eiichi Watanabe[1, 2]

[1] *Kyoto University and* [2]*Regional Planning Institute of Osaka,*
Toyonaka City, Osaka 561-0834, Japan
watanabe@rpi.or.jp

ABSTRACT

The specifications for Japanese highway bridges are currently under revision in the format of performance-based design. This paper tries to elucidate the underlying reliability indices and safety of the bridges designed according to the specifications with the special attention to the factor of safety and the probability of failure assuming the Normal distributions both for the resistance and for the load effect. Then the reliability indices and the probability of failure are numerically evaluated based on the Advanced First-order Second-Moment Method, AFOSM of Level II. A further special reference is made regarding tsunami breakwaters in view of the catastrophic collapses at the Great Eastern Japan Earthquake of March 11, 2011. It was found from the comparison that great discrepancy of the factor of safety exists between the designs of bridges and breakwaters.

INTRODUCTION

The Great Eastern Japan Earthquake (Tohoku - Pacific Ocean Earthquake) occurred on 11 March, 2011 resulting in victims over 20 thousand dead and missing inclusive. The people realized the terror of the natural disasters afresh. At the same time, we structural engineers strongly felt the need for making clear or disclosing the reliability of infrastructures such as bridges, buildings, dikes and tsunami breakwaters. It is also a pity to know that almost few engineers like bridge engineers know how safe these infrastructures such as bridges, dikes and breakwaters that they have designed in the past and what they are presently designing would be. This may be partly because of so many unknown factors and the fact that the Japanese Specifications for Highway Bridges are still in the process toward the complete revision in the format of performance-based design (JRA 2002).

At the present time, bridges are designed to satisfy the performance requirement or the specifications. The performance requirement is to satisfy the target performance; whereas the specification requirement is to classify the types and kinds of the structural components so as to satisfy each of the specifications accordingly. However, in the case of the specification requirement, the target performance is not clearly described. Not only the structural performance but also the safety of the bridges against the external loads is not clear either. From this reason, a subcommittee on common design code on steel and concrete structures was organized by JSCE to make clear the concept for the limit state design of steel and concrete structures (Subcommittee 1992). The present paper is based on the Level I load-factored design method, Level II reliability design method (Thoft-Christensen, P & Murotsu 1986, Stahlbau Handbuch 1982) and the report by this subcommittee in an attempt to find out how safe the designed bridges could be when designed accordingly.

The required performance of designed bridges can be summarized in the following:

(1) Reasonable safety in the ultimate limit state
(2) Reasonable serviceability and functionality in the serviceability limit state
(3) Reasonable fatigue strength
(4) Easy inspection and monitoring/Reasonable maintenance, management and repair
(5) Environmentally friendly and aesthetically good

RELIABILITY INDEX AND PROBABILITY OF FAILURE OF BRIDGES AND BREAKWATERS

Fig. 1 shows phenomena resulting in the failure of bridges (Tanaka et al. 2010). As for the effect of large external forces, big earthquakes and tsunami are examples. As for the examples for the causes of structural defects, corrosion, fatigue, buckling,

[1] Professor Emeritus; [2] Chairperson

plastic deformation, creep, relaxation and erosion of bridge piers are typical. The reliability design methods of structures may be classified into 3 groups of Level I, Level II and Level III (Thoft-Christensen, P & Murotsu 1986, Stahlbau Handbuch 1982). The Level I method as shown in Fig. 2 is determined through the calibrations by Level II or Level III design methods and is characterized by securing the safety using the safety coefficients such as the load factor, resistance factors: material resistance factor and structure factor.

The most important concepts are two independent concepts of the load effect F and the resistance f. Apparently, for the safety of structures, load effect F should not be greater than the resistance f. Both the load effect F and resistance f have stochastic variations. The stochastic value of load effect F can be confirmed only by observations whereas those of f can be confirmed only by experiments. Furthermore, F_m and f_m refer to the expected value of load F and resistance f, respectively. The characteristic value for the load effect F can be usually chosen to be F_m. For the characteristic value of resistance f can be often expressed by $f_k = f_m(1 - k\,V_f)$ where $k = 1.64$ in a case the distribution of the resistance f follows the normal distribution with the probability of non-exceedance of 5% as shown in this figure where σ_f refers to the standard deviation of resistance f and V_f ($=\sigma_f/f_m$) refers to its coefficient of variation. The design load effect F_d and the design material resistance f_d can be determined respectively by $F_d = \gamma_m\,\gamma_F$ and $f_d = f_k/\gamma_m$ where γ_F and γ_m are referred to as the load effect factor and the resistance factor, respectively. The load effect factor and the resistance factor are specified in Table 1 and Table 2, respectively (Subcommittee 1992).

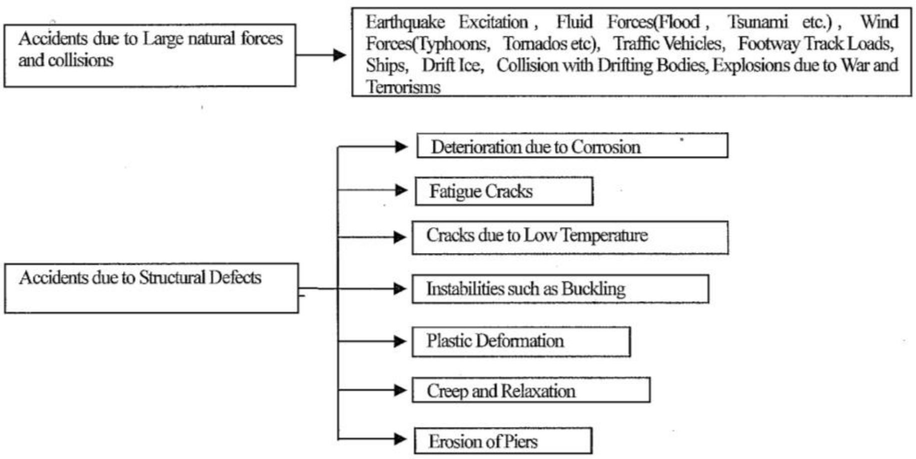


Fig. 1 Phenomena resulting in the failure of bridges.

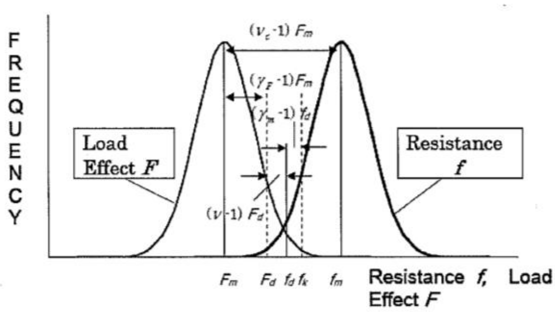


Fig. 2 Reliability Design Method Level I. Load factor γ_F and material resistance factor γ_m.

According to Level II reliability design scheme, assuming the Normal distributions for both load effect and the resistance, the reliability index and the probability of failure can be expressed by Eq. (1) according to the Advanced First-order

Second-Moment Method, AFOSM where $\nu_c = f_m / F_m$ and $\Phi(\beta)$ is referred to as the central factor of safety and the normalized Normal Distribution function of β, respectively where β is referred to as the reliability index defined by:

$$\beta = \frac{Z_m}{\sigma_Z} = \frac{f_m - F_m}{\sqrt{\sigma_F{}^2 + \sigma_f{}^2}} = \frac{\nu_c - 1}{\sqrt{V_F^2 + \nu_c^2 V_f^2}}; \qquad P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \tag{1}$$

Table 1 Load Effect Factor, γ_F

Limit State	Kinds of Load Effect	Load Effect Factor, γ_F
Ultimate Limit	Permanent Load	1.0～1.2 or 1.0～0.8 (when smaller value becomes more unfavorable)
	Principal Variable Load	1.1～1.2
	Secondary Variable Load	1.0
	Accidental Load	1.0
Serviceability Limit	All Loads	1.0
Fatigue Limit	All Loads	1.0

Table 2 Resistance Factor γ_m

Kind of Material	Limit State	Resistance Factor, γ_m	
Steel($m=s$)	Ultimate Limit	γ_s	1.0～1.05
	Serviceability Limit		1.0
	Fatigue Limit		1.0～1.05
Concrete ($m=c$)	Ultimate Limit	γ_c	1.3
	Serviceability Limit		1.0
	Fatigue Limit		1.3

The probability of failure and the reliability index are shown in Fig. 3 and Fig. 4, respectively for different values of the central factor of safety, $\nu_c = f_m/F_m$ in two cases of $V_F = 0.1/V_f = 0.05$ and $V_F = 0.2/V_f = 0.1$, respectively.

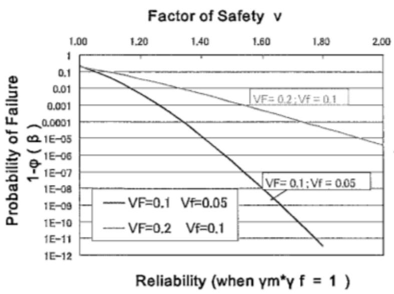


Fig. 3 Probability of failure for different values of central factor of safety, $\nu_c = f_m/F_m$

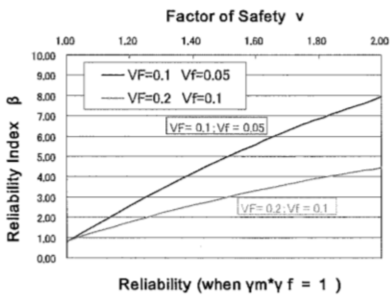


Fig. 4 Reliability Index for different values of central factor of safety, $\nu_c = f_m/F_m$

On 11 March 2011, a great tragedy assaulted the North Eastern Japan. The disaster is now officially named the Great Eastern Japan Earthquake. According to the official announcement, the magnitude of the earthquake was Mw 9.0, which is an unprecedented magnitude in Japan. Particularly the fact that most of the tsunami breakwaters were severely destroyed by the unprecedented tsunami is amazing. The investigation party dispatched by JSCE and headed by the leader, Prof. H. Maruyama reported that the main initial cause of the failure of such breakwaters could have been the overflow of tsunami wave over the top of breakwaters. The overflowed tsunami was the main cause of the scouring of the breakwaters and their turning over.

After literature survey, the factor of safety of the breakwater in Japan was found to be only 1.0 and that of the walls against the sliding is only 1.1. These low factors of safety are very much surprising to us, structural engineers who are accustomed to the factor of safety of the value close to 1.7. It has been found that one of the largest tsunami in Japan in the past having the resemblance to the 11 March 2011 would be the one which occurred at Johgan Earthquake of 869 A.D. Thus, the return period of this size of tsunami may be considered to be once in every 1000 years. Keeping this in mind the probability of failure, namely, the probability tsunami exceeding the height of breakwater is evaluated for different values of the factor of safety. The relationship between the expected tsunami height, H and the return period of tsunami, T may be expressed by Eq. (2) following equation following the paper by Yoshida etc. (Yoshida 2007).

$$\frac{H}{H_o} = \frac{\log T}{\log T_o} = \frac{\log(1/T)}{\log(1/T_o)} \tag{2}$$

where T_o corresponds to the return period of the maximum tsunami height H_o. The curve represented by Eq. (2) is referred to as a tsunami hazard curve. Let d represent the height of a breakwater, then the safety margin Z may be expressed by Eq. (3):

$$Z = d - H \geq 0 \tag{3}$$

Again by applying the AFOSM, the reliability index β can be expressed by Eq. (4):

$$\beta = \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + V_H^2}} = \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + \left(\dfrac{V_T}{\log T_o}\right)^2}} \tag{4}$$

where $\nu_d = \mu_d / \mu_H$ representing the factor of safety of breakwater in which μ_d and μ_H represents the expected value of d and H, respectively; V_d and V_T designates the coefficient of variation of d and T, respectively. Then the reliability index β and the probability, P_f of tsunami height exceeding the height of breakwater is shown by Fig. 5 and Fig. 6, respectively.

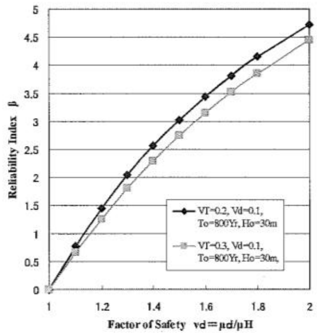


Fig. 5 Reliability Index of Breakwater

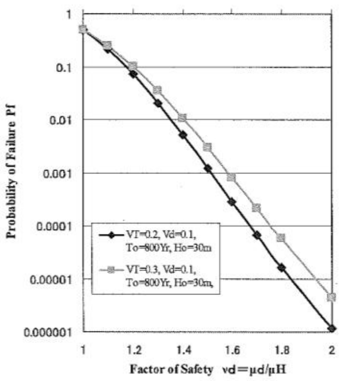


Fig. 6 Probability of Tsunami exceeding Height of Breakwater

It is surprising to know that according to the current design method of breakwater against tsunami, since the factor of safety is one, the probability of failure, namely tsunami exceeding the height of breakwater is 50%. Even if the factor of safety is improved to be 1.2, the probability of failure may be something like 10%.

CONCLUSION

The current Japanese Specifications for highway bridges are under revision in the format of performance-based design in the genuine sense. Attempts are made in this paper to evaluate the reliability with special emphasis on the reliability index and probability of failure of the bridge structural design. Further attempts are made to evaluate the reliability of tsunami breakwaters. It is found that the current practice of the design of breakwater is such that the factor of safety of tsunami height exceeding the height of breakwater is just one. In view of the fact that the overflow of tsunami over the top of breakwater eventually results in the fatal catastrophe of the scouring, sliding or turning over of breakwaters, the review or reexamination of the factor of safety of breakwater may become worth while in recognition of the larger factors of safety of bridge design employed at present.

REFERENCES

Japan Road Association (JRA), Specifications for Highway Bridges, Part I, Common design principles, Maruzen 2002 (in Japanese).

Stahlbau Handbuch, Für Studium und Praxis, Stahlbau- Verlags-GmbH Köln, 1982.

Subcommittee on common design code on steel and concrete structures, "General principles for the limit state design of steel and concrete structures, Report of Committee, Proc. JSCE, No. 450/I-20, 13-20, 1992.

Tanaka T., Watanabe, E. et al., Illustrative science of bridges, Kansai Chapter of JSCE, Blue Backs B1676, Kohdansha, Tokyo, 2010 (in Japanese).

Thoft-Christensen, P & Murotsu, Y. Application of structural systems reliability theory, Springer-Verlag, Berlin, 1986.

Yoshida, I., Takeuchi, T., Ohmori, M., Fujii, N. and Yanagisawa, K., "A Method for estimation of collision hazard of tsunami floating objects", Proc. of Earthquake Engineering, JSCE, Vol. 29, 912-917, 2007.

詳細⑮：ポーランド理論応用力学誌投稿

RELIABILITY OF BRIDGES EVALUATED THROUGH GENERAL PRINCIPLES FOR THE LIMIT STATE DESIGN BY JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

-With a Special Reference to Safety of Tsunami Breakwaters -

Eiichi Watanabe[1,2]

[1]*Kyoto University and* [2]*Regional Planning Institute of Osaka, Toyonaka City, Osaka 561-0834, Japan*
watanabe@rpi.or.jp

SHORT SUMMARY

Although the specifications for Japanese highway bridges are currently under revision in the format of performance-based design, the degree of safety of the designed bridges is not easy to understand. Thus, this paper attempts to disclose the safety and the underlying reliability indices of roadway bridges designed in accordance with the Japanese Specifications for Highway Bridges in the light of a proposal of general principles for the limit state design. Special attention is focused on the relationship between the probability of failure and the factor of safety assuming the Normal distributions both for the resistance and for the load effect. The reliability indices and the probability of failure are numerically evaluated based on the Advanced First-order Second-Moment Method, AFOSM of Level II. Further special reference is made regarding tsunami breakwaters in view of low frequency but high consequence damages by the Great Eastern Japan Earthquake of March 11, 2011. It was found from the comparison that great discrepancy of the factor of safety exists between the designs of bridges and breakwaters.

Keywords: *Factor of Safety, Probability of Failure, Reliability Index*

INTRODUCTION

The Great Eastern Japan Earthquake (Tohoku - Pacific Ocean Earthquake) occurred on 11 March, 2011 inflicting victims over 20 thousand dead and missing inclusive. The people realized the terror of a low frequency but high consequence disaster and the induced melt-down of nuclear reactors in Fukushima Prefecture afresh. At the same time, most of the Japanese structural engineers must have strongly felt the need for public disclosure of the safety of infrastructures such as bridges, buildings, dikes and tsunami breakwaters that they have built so far. It is really a pity to know that few Japanese engineers understand in reality to what degree bridges, dikes and breakwaters that they have designed and built are safe although they tend to take for granted that most of these infrastructures have been performing quite properly. This anxiety of engineers may be due to so many unknown factors in the design and construction in view of the fact that the Japanese Specifications for Highway Bridges are still in the process toward the complete revision in the format of performance-based design (JRA 2002).

At the present time, bridges are designed to satisfy either the performance requirement or the specifications. The performance requirement is to satisfy the target performance; whereas the specification requirement is to classify the types and kinds of the structural components so as to satisfy each of the specifications accordingly. However, in the case of the specification requirement, it is unfortunate to say that the target performance is not clearly described. Not only the structural performance but also the safety of the bridges against the external loads is not perfectly clear either. From this reason, a subcommittee on common design code on steel and concrete structures was organized by JSCE to make clear the concept for the limit state design of steel and concrete structures (Subcommittee 1992). The present paper is based on the Level I load-factored design method, Level II reliability design method (Thoft-Christensen, P & Murotsu 1986, Stahlbau Handbuch 1982, Melchers, R. E. 1987) and the report by this JSCE subcommittee in an attempt to find out in general how quantitatively safe the designed bridges could be when designed accordingly.

---

[1] Professor Emeritus; [2] Chairperson

The required performance of designed bridges can be summarized in the following:

(1) Reasonable safety in the ultimate limit state
(2) Reasonable serviceability and functionality in the serviceability limit state
(3) Reasonable fatigue strength
(4) Easy inspection and monitoring/Reasonable maintenance, management and repair
(5) Environmentally friendly and aesthetically good

RELIABILITY INDEX AND PROBABILITY OF FAILURE OF BRIDGES AND BREAKWATERS

What is the safety? One example of the answers to this question may be the "relative freedom from danger, risk, or threat of harm, injury, or loss to personnel and/or property, whether caused deliberately or by accident" (www.businessdictionary.com/definition/safety.html) . Then what would be the appropriate index to measure the safety? It may depend on (1) To what degree the safety should be raised? And (2) How to improve it? To the first question, although it may at first look desirable to eliminate every possibility of dangerous states and raise the safety to the highest degree, the cost may become astronomically high. Furthermore, people may feel being somehow deprived of their freedom to accomplish the perfect safety. Thus, how to get rid of danger while enjoying social human life seems to be the problem. Thus, in the human history, people have taken long time to acquire experience to make sure of the safety each time newly developed technology is born.

There may be wide variety of dangers or failures in bridges. Figs. 1(a) and 1(b) show symbolically an example of fail-safe parallel bridge system and an example of weakest-link series bridge system (Thoft-Christensen 1986) . People feel at ease with the fail-safe system rather than with the weakest-link system because of the inherent redundancy of the former. It must be added, however, that even the fail-safe system may fail just like weakest-link system due to the aging and deteriorations caused by corrosion, fatigue, excessive natural or artificial forces or by accidents. Once in a while it may fail progressively in a domino fashion due to accelerated deterioration of performance. Furthermore, there are also great varieties of basic material properties at ultimate state. Fig. 2(a) shows the ductile fracture model demonstrating plastic flow and Fig. 2(b) brittle fracture model for example, such as of cable fracture (Thoft-Christensen 1986). Naturally, the degree of failure may differ considerably depending on whether the material is ductile or brittle. In many cases, the brittle fracture may result in unfavorable results. Once in a while local fracture of structures or structural elements may develop into more serious global fracture.

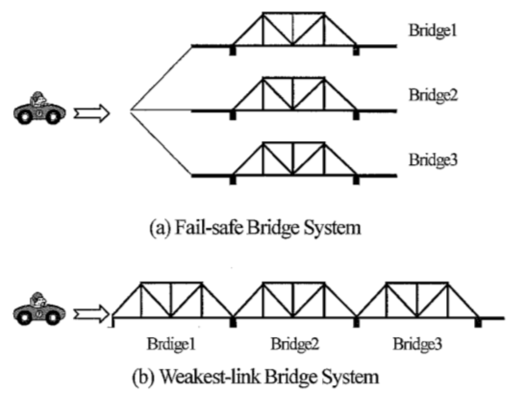


Fig.1 Fail-safe Bridge System and Weakest-link Bridge System

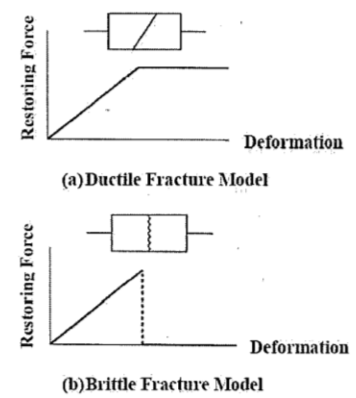


Fig. 2. Ductile Fracture and Brittle Fracture Models

Fig. 3 shows a list of phenomena resulting in the failure of bridges (Tanaka et al. 2010). Large natural forces include such as typhoons, tornados, earthquakes and tsunamis. The causes of structural defects include such as corrosion, fatigue, buckling, plastic deformation, creep, relaxation and erosion or scouring of bridge piers.

The reliability design methods of structures may be basically classified into 3 groups of Level I, Level II and Level III (Thoft-Christensen, P & Murotsu 1986, Stahlbau Handbuch 1982, Melchers, R. E. 1987). Figs. 4 (a) and

(b) summarize a simple comparison of the Level II and Level III reliability design methods, respectively. It is intended in this paper that the reliability indices and the corresponding probabilities are evaluated by Level II reliability design method. Then the results are going to be reflected in more realistic and practical method of Level I: Load factored design with the main interest being the values of the reliability indices and the corresponding probabilities of failure by changing the values of the factor of safety, load factor and the resistant factor.

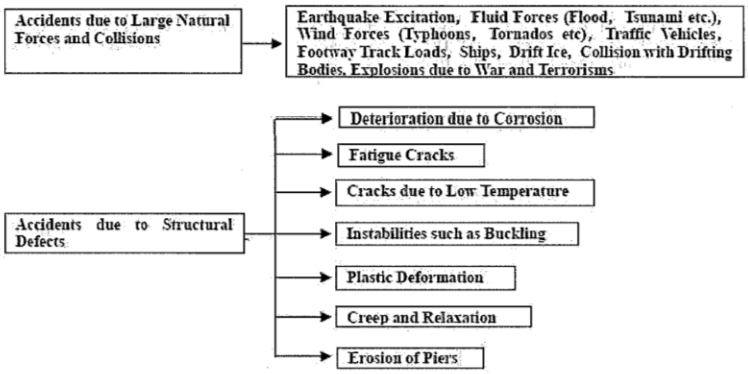
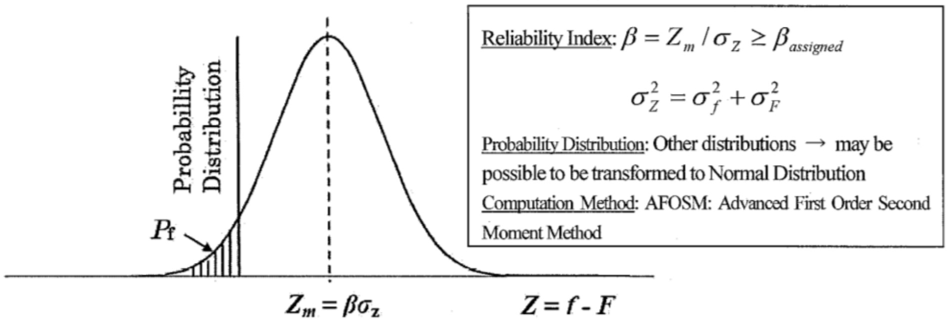
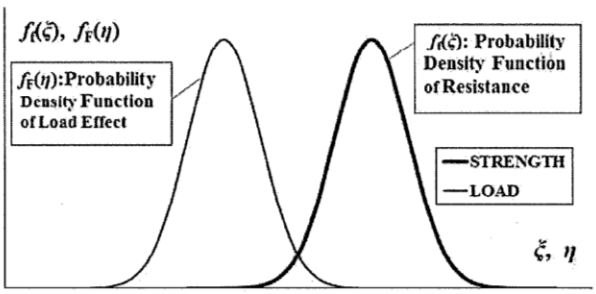


Fig. 3 Phenomena resulting in the failure of bridges.



(a) Level II Reliability Design Method



$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_F(\eta)d\eta \int_{-\infty}^{\eta} f_f(\xi)d\xi = \int_{-\infty}^{\infty} f_F(\eta)F_f(\eta)d\eta \leq P_{allowable}$$

(b) Level III Reliability Design Method

Fig. 4 Comparison among reliability design methods of Level II and Level III

The Level I method as shown in Fig. 5 is determined basically through the calibrations by either Level II or Level III design methods and is characterized by the concept of securing the safety using the factor of safety and the safety coefficients such as the load effect factor, γ_F and resistance factors, γ_m namely, material resistance factor and structure factor. In this paper only Level II design method is used to evaluate the probability of failure.

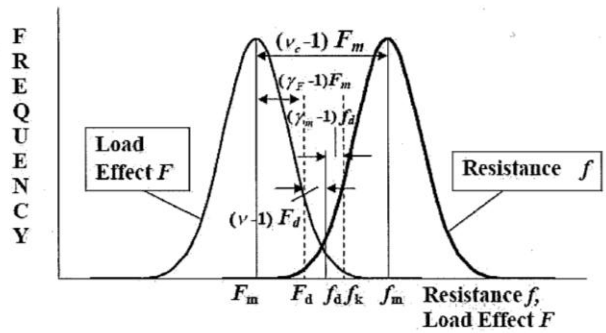


Fig. 5 Reliability Design Method Level I. Load factor γ_F and material resistance factor γ_m.

Naturally, for the safety of structures, load effect F should not be greater than the resistance f. In reality both the load effect F and resistance f have stochastic variations. The stochastic value of load effect F can be confirmed only by observations whereas that of f can be confirmed only by experiments. Furthermore, these stochastic values of F and f are in general described in terms of the expected values, F_m and f_m, respectively. The central factor of safety, ν_c is then defined by $\nu_c = f_m/F_m$. The characteristic value for the load effect F can be usually chosen to be F_m. Whereas for the characteristic value of resistance f, some kind of guaranteed lower limit is naturally expected to be specified to reduce the danger of deficient performance and consequently can be often expressed in a case where the distribution of the resistance f follows the Normal distribution by $f_k = f_m(1 - k\,V_f)$ where $k = 1.64$ with the probability of non-exceedance of 5% as shown in this figure where σ_f refers to the standard deviation of resistance f and $V_f (= \sigma_f/f_m)$ refers to its coefficient of variation. The design load effect F_d and the design material resistance f_d can be determined respectively by $F_d = F_m\,\gamma_F$ and $f_d = f_k/\gamma_m$ where γ_F and γ_m are referred to as the load effect factor and the resistance factor, respectively. Then the factor of safety, ν is defined by $\nu = f_d/F_d$. Consequently, the relationship between the factor of safety, ν and the central factor of safety, ν_c can be shown by $\nu = f_d/F_d = (f_k/\gamma_m)/(F_m\,\gamma_F) = \nu_c(1-kV_f)/(\gamma_m\gamma_F)$. The load effect factor and the resistance factor are specified in Table 1 and Table 2, respectively (Subcommittee 1992).

Table 1 Load Effect Factor, γ_F

Limit State	Kinds of Load Effect	Load Effect Factor, γ_F
Ultimate Limit	Permanent Load	1.0～1.2 or 1.0～0.8 (when smaller value becomes more unfavorable)
	Principal Variable Load	1.1～1.2
	Secondary Variable Load	1.0
	Accidental Load	1.0
Serviceability Limit	All Loads	1.0
Fatigue Limit	All Loads	1.0

Table 2 Resistance Factor γ_m

Kind of Material	Limit State	Resistance Factor, γ_m	
Steel($m=s$)	Ultimate Limit	γ_s	1.0～1.05
	Serviceability Limit		1.0
	Fatigue Limit		1.0～1.05
Concrete ($m=c$)	Ultimate Limit	γ_c	1.3
	Serviceability Limit		1.0
	Fatigue Limit		1.3

According to Level II reliability design scheme, assuming the Normal distributions for both load effect and the resistance, the reliability index and the probability of failure can be generally expressed by Eq. (1) according to the Advanced First-order Second-Moment Method, AFOSM where β, $\Phi(\beta)$, σ_F and V_F ($=\sigma_F/F_m$) are referred to as the reliability index, the normalized Normal Distribution function of β and the standard deviation and the coefficient of variation of the load effect F, respectively in general or in case of low frequency but high consequence load effect ($V_F = 0$ and the histogram of the load effect of F in Fig. 5 may be replaced by several pulses of narrow banded step functions), respectively by:

$$\beta = \frac{Z_m}{\sigma_Z} = \frac{f_m - F_m}{\sqrt{\sigma_F^{\ 2} + \sigma_f^{\ 2}}} = \frac{\nu_c - 1}{\sqrt{V_F^2 + \nu_c^2 V_f^2}}; \qquad P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \qquad (1)$$

$\beta = (\nu_c - 1)/(\nu_c V_f)$ ($V_F = 0$ in case of low frequency but high consequence load effect)

The probability of failure and the reliability index are shown in Fig. 6 and Fig. 7, respectively for different values of the factor of safety, ν in two cases of $V_F = 0.1; V_f = 0.05$ and $V_F = 0.2; V_f = 0.1$, respectively. For distributions other than the Normal, references are recommended to be quoted (Thoft-Christensen 1982 &1986).

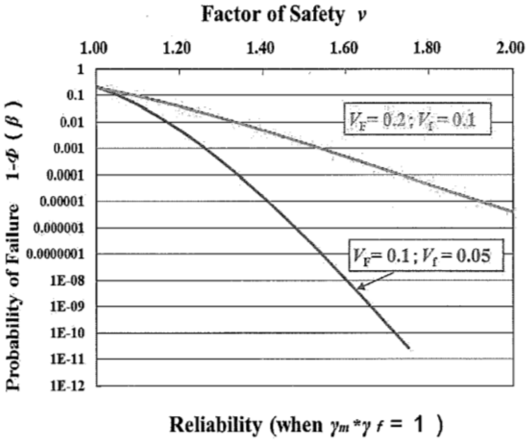


Fig. 6 Probability of failure for different values of factor of safety, ν

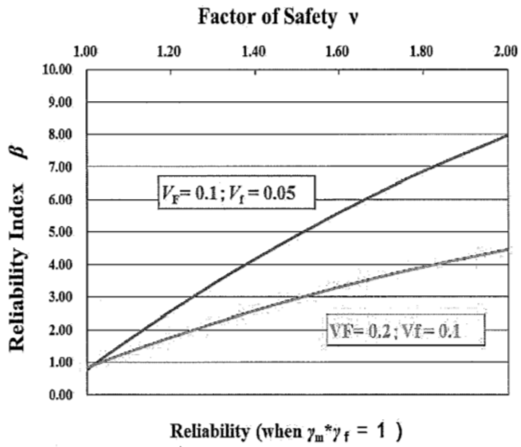
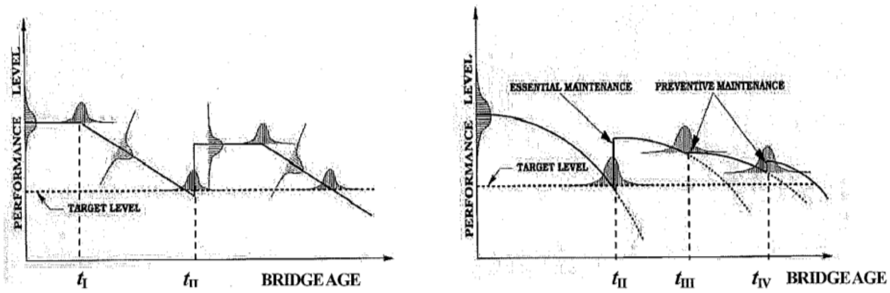


Fig. 7 Reliability Index for different values of factor of safety, ν

DETERIORATION OF STRUCTURAL PERFORMANCE

D. Frangopol and P. Thoft-Christensen showed that the performance of bridges may be reduced by aging on the basis of their research works on concrete bridges in UK studies (Frangopol 1999, Thoft-Christensen, 1999). Fig. 8 and Fig. 9 show the decrement of the value of reliability indices or the performance due to the deteriorations of concrete bridge performances. Particularly, the aging shown in Fig. 9 is really surprisingly large.



(a) simplified figure (Frangopol 1999)

(b) essential and preventive maintenance (Thoft-Christensen, 1999)

Fig. 8 Deterioration of performance of a concrete bridge

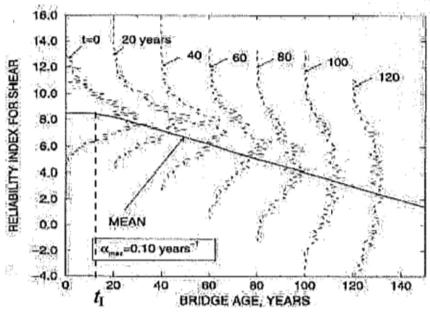


Fig. 9 Time-dependent deterioration process of the reliability index. Note the expected value and Stochastic variations – concrete bridge under shear (Frangopol 1999)

They concluded in the following manner:

(1) Reliability index β ranges from 5 to 12 at the initial stage when bridges are newly built (In case of Normal Distribution, $P_f = 3.0\times10^{-7}$ at $\beta = 5$ and $P_f = 0.0$ at $\beta = 12$)

(2) Deterioration process starts at a time point, t_I after the service of bridges started [Figs. 8(a) & 9].

(3) Essential maintenance must be carried out if β decreases below the target value of 4.6 (In case of Normal Distribution, $P_f = 2.2\times10^{-6}$) at a certain time point of t_{II}.

(4) Preventive maintenance is recommended to be carried out economically well in advance at time point such as at t_{III} or t_{IV} (Fig. 8(b)) so that the essential maintenance may not have to be carried out at the time point, t_{II}.

SOME CONSIDERATIONS ON THE SAFETY OF TSUNAMI BREAKWATERS

On 11 March 2011, a great tragedy assaulted the North Eastern Japan. The disaster is now officially named the Great Eastern Japan Earthquake. According to the official announcement, the magnitude of the earthquake was Mw 9.0, which is an unprecedented magnitude in Japan. Particularly the fact that most of the tsunami breakwaters were severely destroyed by the unprecedented tsunami is amazing. The investigation party dispatched by JSCE and headed by the leader, Prof. H. Maruyama reported that the main initial cause of the failure of such breakwaters might be the overflow of tsunami over the top of breakwaters. Thus, the overflowed stream could be the main cause (http://mainichi.jp/select/weathernews/20110311/archive/news/2011/05/14/20110514k0000e040058000c.html) of the scouring of the breakwaters and their turnover. Furthermore, Prof. T. Hara of Kohchi University explained the scouring in such a way that the overflowed stream turns around just behind the breakwater and washes out the ground. The breakwater becomes unstable due to this scouring, with the buoyancy force acting on the breakwater and the risen water level pushed it from the ocean side to inside resulting in the easier turnover of breakwater.

Fig. 10 shows estimated tsunami travel time forecast map for the 2011 Great Eastern Japan (hereafter referred to as GEJ for convenience) Earthquake from the U.S. NOAA. Moreover, Photos 1 to 3 show some pictures of a piled-up ship over a breakwater and turnover of breakwaters by the courtesy of Mr. I. Teranishi who surveyed several places badly damaged during this earthquake as a member of Japan Bridge Association.

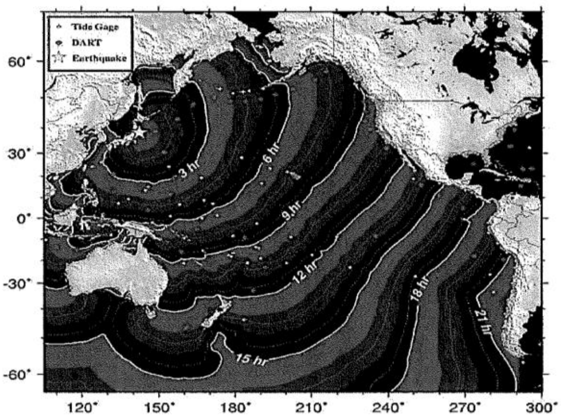
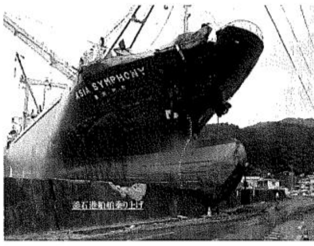


Fig.10 Estimated tsunami travel time forecast map for the 2011 GEJ Earthquake from the U.S. NOAA (http://wcatwc.arh.noaa.gov/2011/03/11/lhvpd9/06/messagelhvpd9-06.htm wcatwc.arh.noaa.gov)



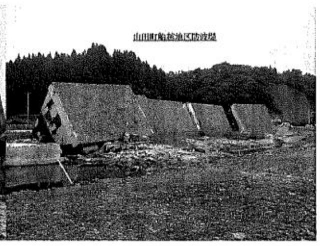


Photo 1 Piled-up ship on bank at Kamaishi Harbor (Courtesy of Mr. I. Teranishi)

Photo 2 Breakwaters turned over counter-clockwise at Yamada-Cho (Courtesy of Mr. I. Teranishi)

Photo 3 Breakwaters turned over showing bottoms at Yamada-Cho (Courtesy of Mr. I. Teranishi)

Fig. 11 shows the classification of the failures of breakwaters by the Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research of the Port and Airport Research Institute (www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinihon/4/2-2.pdf).

As already mentioned, JSCE has reported that the main initial cause of the failure of such breakwaters might be the overflow of tsunami over the top of breakwaters as shown in Fig. 11(d): overflowed stream resulting in the scouring of the ground just behind and inside the breakwater and the subsequent turnover. After literature survey, the factor of safety of the breakwater in Japan was found to be only 1.0 and that of the walls against the sliding is only 1.1. These low factors of safety are very much surprising to us, structural engineers who are accustomed to the factor of safety as high as about 1.7. It has been found that one of the largest tsunamis in Japan in the past with the resemblance to the 11 March 2011 tsunami would be the one which occurred at Johgan Earthquake of 869 A.D. Thus, the return period of this size of tsunami may be considered to be once in every 1000 years. Keeping this in mind the probability of overflow, namely, the probability tsunami exceeding the height of breakwater is evaluated for different values of the factor of safety.

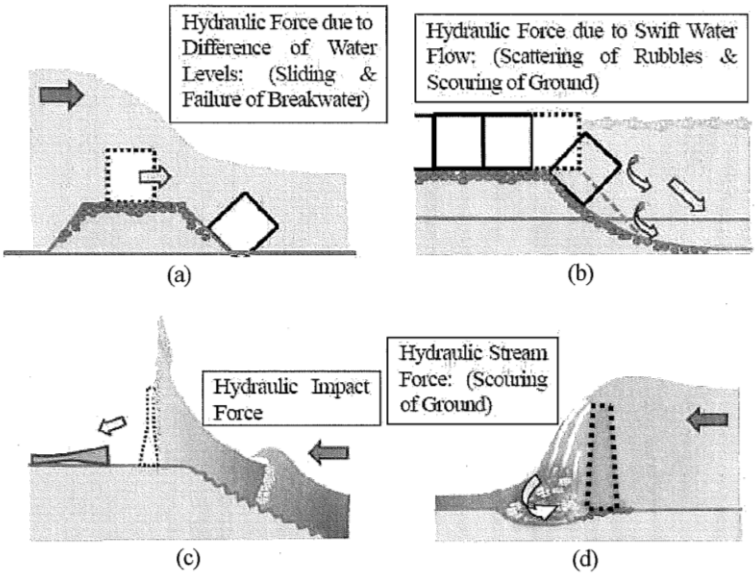


Fig. 11 Classification of the failures of tsunami breakwaters (Courtesy of Mr. Takahashi, S. of the Port and Airport Research Institute)

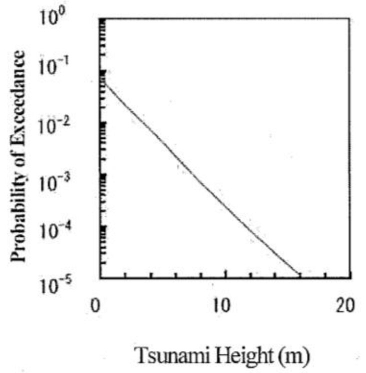
Tsunami hazard curves are often used to designate the relationship between the probability of exceedance of occurrence and the height of tsunami. Needless to say, these curves generally depend on many factors such as the topography of the surrounding sea, locations of active faults, epicenter and magnitude of earthquake, starting point of asperity and non-uniformity of the faults. For example, Annaka, T. et al. developed the logic-tree models for local tsunami sources around Japan and for distant tsunami sources along the South American subduction zones. Logic-trees were made for tsunami source zones, size and frequency of tsunamigenic earthquakes, fault models, and standard error of estimated tsunami heights (Annaka 2007). In this paper, however, since the author is not an expert in this area, the discussions are made presumptuously in a very simple manner on the assumption that tsunami can occur anywhere near the sea zones potentially susceptible to tsunami. A simplified relationship between the expected tsunami height, H and the return period of tsunami, T may be expressed quite well by Eq. (2) as an approximation following the paper by Yoshida etc. (Yoshida 2007).

$$\frac{H}{H_o}=\frac{\log T}{\log T_o}=\frac{\log(1/T)}{\log(1/T_o)} \tag{2}$$

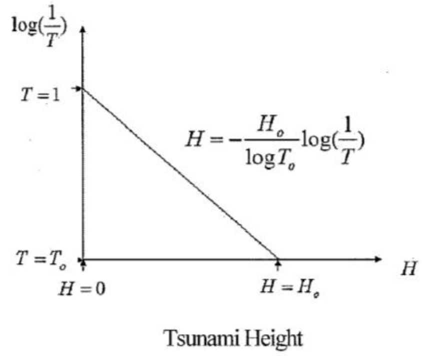
where T_o corresponds to the return period of the maximum tsunami height H_o. Eq. (2) is used herein as a tsunami hazard curve as shown in Fig. 12(b). From evidences from investigations such as geological excavations, the Johgan Earthquake is thought to be very close to 11 March 2011 GEJ Earthquake. The Johgan tsunami occurred in AD 869 with the earthquake of M8.3. Thus, it may be conveniently assumed that T_o =800 Years and H_o =30m (max tsunami height recorded on 11 March 2011) as shown in Table 3.

Table 3 Prediction of Tsunami Height in reference to 11 March 2011 Earthquake and Johgan Earthquake.

T (Year)	800	100	50	30	10
H (m)	30	20.66	17.6	15.3	10.3



(a) Hazard curve by Yoshida (Yoshida 2007)



(b) Hazard curve, Eq. (2)

Fig. 12 showing the relationship between log $(1/T)$ and tsunami height H

Since T_o refers to the return period, the probability of tsunami occurrence at least once in consecutive Q years, P_r, may be expressed by Eq. (3):

$$P_r = 1-\left(1-\frac{1}{T_o}\right)^Q \quad (3)$$

Thus, the probability, P_r, of tsunami occurrence can be given as in Fig. 13 and in Table 4. It may be observed that naturally, the longer the value of Q, the larger the probability P_r becomes. It would be very important to know from Table 4 and Fig. 13 that when the period, Q, is close to the target return period T_o, the probability of occurrence of the tsunami is something like 63% while it is about 10% when the period, Q, is 1/10 of the return period, T_o.

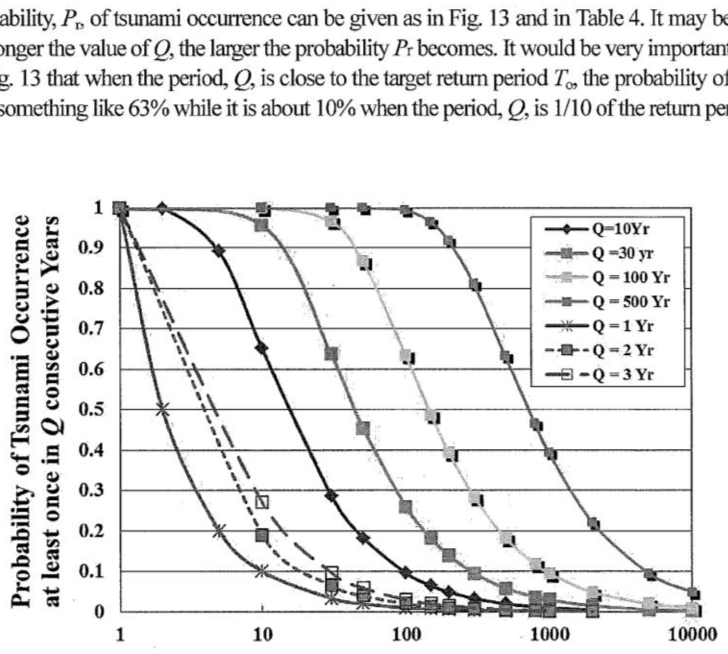


Fig. 13 Probability, Pr, of tsunami occurrence such as 11 March 2011 at least once in consecutive Q years.

Table 4. Probability, P_r, of tsunami occurrence such as 11 March 2011 at least once in consecutive Q years.

Q (Year)	10	30	100	500	800
P_r	0.012	0.037	0.118	0.465	0.632

So far, the discussion was made on the probability of occurrence of tsunami and this has only a little bearing on the safety of tsunami breakwater. Now, let us next consider the reliability and safety of the tsunami breakwaters. Let d represent the height of a breakwater, then the safety margin Z may be expressed by Eq. (4):

$$Z = d - H \geq 0 \tag{4}$$

Again by applying the AFOSM, the reliability index β can be expressed by Eq. (5):

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_d - \mu_H}{\sigma_Z} = \frac{\mu_d - \mu_H}{\sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_H^2}} = \frac{\mu_d / \mu_H - 1}{\sqrt{\sigma_d^2 / \mu_H^2 + \sigma_H^2 / \mu_H^2}} = \frac{\nu_d - 1}{(\sigma_H / \mu_H)\sqrt{\sigma_d^2 / \sigma_H^2 + 1}} \\ &= \frac{(\nu_d - 1)}{V_H \sqrt{\sigma_d^2 / \sigma_H^2 + 1}} = \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + V_H^2}}\end{aligned} \tag{5}$$

where $\nu_d = \mu_d / \mu_H$ represents the factor of safety of breakwater; μ_Z, μ_d, μ_H and σ_Z, σ_d, σ_H represent the expected values and the standard deviations of Z, d, H, respectively. Furthermore, V_d and V_H designate the coefficients of variation of d and H, respectively. Now, upon differentiation of Eq. (2), Eq. (6) can be obtained.

$$\frac{dH}{H_o} = \frac{1}{\log T_o} \frac{dT}{T} \tag{6}$$

From Eq. (6), the relationship between σ_H and σ_T of H and T, respectiverly can be found as in Eq. (7):

$$\sigma_H^2 = \left(\frac{H_o}{\log T_o \cdot T} \right)^2 \sigma_T^2 \tag{7}$$

Thus, the reliability index can be found to be expressed by Eq. (8) as:

$$\beta = \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + V_H^2}} = \frac{(\nu_d - 1)}{\sqrt{V_d^2 \cdot \nu_d^2 + \left(\frac{V_T}{\log T_o} \right)^2}} \tag{8}$$

where V_T represents the coefficient of variation of T. Then the reliability index β and the probability, P_f of tsunami height exceeding the height of breakwater is shown by Fig.14 and Fig. 15, respectively. Furthermore, under condition of $V_T = 0.2$ and $V_d = 0.1$, the probability of failure (overflow), P_f is obtained as shown in Fig. 16 when the return period of tsunami, T_o and the predicted maximum tsunami height, H_o are varied. Just as for the structural reliability problems, in the case of a low frequency but high consequence occurrence of a huge tsunami, the reliability index becomes by neglecting the coefficients of variation, V_H and V_T:

$$\beta = (\nu_d - 1)/(\nu_d \ V_d) \tag{9}$$

It is surprising to know that according to the current design method of breakwater against tsunami, since the factor of safety is very close to one, the probability of failure, namely tsunami exceeding the height of breakwater is 50%. Even if the factor of safety is improved to be 1.2, the probability of failure may be something like 10%.

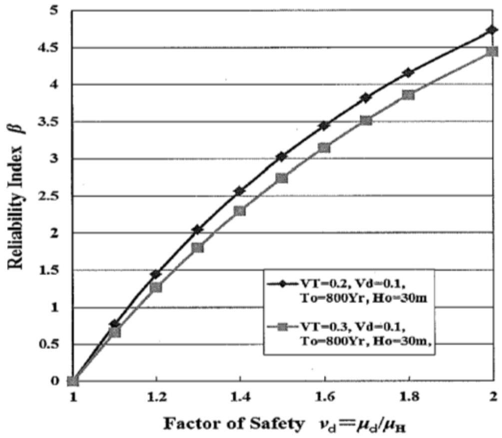


Fig. 14 Reliability Index of Breakwater

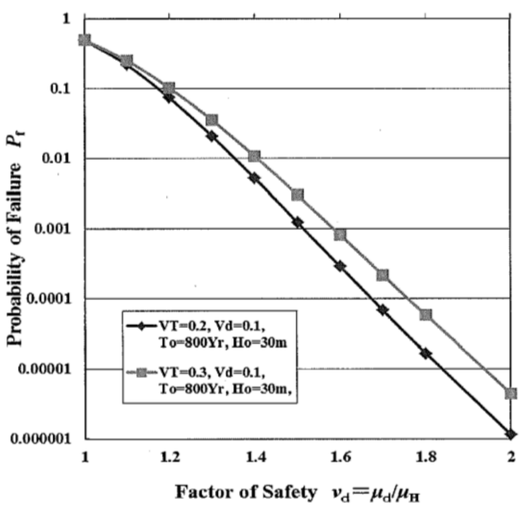


Fig. 15 Probability of Tsunami exceeding Height of Breakwater

CONCLUSION

The current Japanese Specifications for highway bridges are under revision in the format of performance-based design in the genuine sense although there may be more detailed laborious efforts yet to be made by the writers of the Specifications such as time-taking detailed calibrations for practical purposes. Thus, attempts are made in this paper to roughly evaluate the general reliability with special emphasis on the reliability index and probability of failure of the bridge design. Special attempts are made also to evaluate the reliability of tsunami breakwaters. It is found that the current practice of the design of breakwater is such that the factor of safety of tsunami height exceeding the height of breakwater is just one. In view of the fact that the overflow of tsunami over the top of breakwater eventually results in the fatal catastrophe of the scouring, sliding or turning over of breakwaters, the review or reexamination of the factor of safety of breakwater may become worthwhile in recognition of the larger factors of safety of bridge design employed at present in preparation of the future low frequency but high consequence tsunami in the near future. As a matter of fact, Japan is threatened with a linked series of huge earthquakes of Tokai (East Sea), Tonankai (South-East Sea) and Nankai (South Sea). These linked earthquakes in a domino reaction are predicted to occur at any moment immediately near future in the similar scale of the Great Eastern Japan Earthquake. Finally how to be prepared for the natural disasters of low frequency but high consequences is a great challenge for the mankind and for this purpose people of the world should work together to find the best solution.

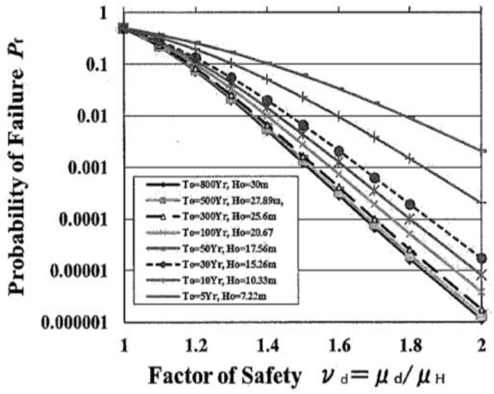


Fig. 16 Change of Probability of Failure P_f when return period T_o is varied ($V_T = 0.2$ and $V_d = 0.1$)

REFERENCES

1. Annaka, T., Satake, K., Sakakiyama, T., Yanagisawa, K. and Shuto, N., 2007, Logic-tree Approach for Probabilistic Tsunami Hazard Analysis and its Applications to the Japanese Coasts, *Pure and Applied Geophysics,* Volume 164, Issue 2-3, 577-592.
2. Frangopol, D. M. and Das, P. C., 1999, Management of bridge stocks based on future reliability and maintenance costs, *Current and future trends in bridge design, construction and maintenance,* Thomas Telford Publishing, London, 45-58.
3. Japan Road Association (JRA), 2002, *Specifications for Highway Bridges*, Part I, Common design principles, Maruzen, Tokyo (in Japanese).
4. Melchers, R. E., 1987, *Structural Reliability Analysis and Prediction,* Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987.
5. Stahlbau Handbuch, 1982, *Für Studium und Praxis*, Stahlbau-Verlags-GmbH Köln.
6. Subcommittee on common design code on steel and concrete structures, 1992, General principles for the limit state design of steel and concrete structures, *Report of Committee, Proc. JSCE,* No. 450/I-20, 13-20.
7. Tanaka T., Watanabe, E. et al., 2010, *Illustrative Science of Bridges,* Kansai Chapter of JSCE, Blue Backs B1676, Kohdansha, Tokyo (in Japanese).
8. Thoft-Christensen, P. and Baker, M. J., 1982, *Structural reliability and its applications,* Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
9. Thoft-Christensen, P. and Murotsu, Y., 1986, *Application of Structural Systems Reliability Theory,* Springer-Verlag, Berlin.
10. Thoft-Christensen, P., 1999, Estimation of Bridge Reliability Distributions, *Current and future trends in bridge design, construction and maintenance,* Thomas Telford Publishing, London, 15-25.
11. Yoshida, I., Takeuchi, T., Ohmori, M., Fujii, N. and Yanagisawa, K., 2007, A method for estimation of collision hazard of tsunami floating objects, *Proc. of Earthquake Engineering, JSCE,* Vol. 29, 912-917 (in Japanese).