

## 設計と照査、そして複合構造

北武コンサルタント株式会社  
渡辺 忠朋

## はじめに

私は、たぶん構造物の技術者です。

- ① コンクリート構造、鋼構造、複合構造は、構造物を構成する構造体の種別で、構造体の好き嫌いはありません。
- ② 橋りょう、地下構造物、上部構造、下部構造、基礎構造の区別はありません。

これから話す内容は、あくまで私見ですので、自己責任でご判断下さい。

ただし、過去の話は、全てノン・フィクションです。

### ■ はじめての設計—設計との出会い—

1983(昭和58年)

- ✓ 国鉄は赤字なので、外注費削減、直轄設計部隊の設置配属の理由 若いというだけ。
- ✓ 何度も間違えるので、上司が自費でパソコン買ってきて、プログラム作ろう！  
N88BAISICでプログラム作成+PC8801MK II で設計計算

#### ■ RCスラブ桁と橋台 札幌高架(起点)

- 担当は、23歳と21歳
  - ✓ 配筋図80@100事件  
本数と間隔を逆に描く
- 教訓:素人が設計するな!

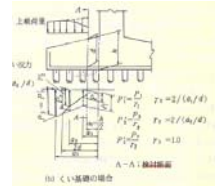


### ■ 2回目の設計—せん断との出会い—

1983(昭和58年)

#### ■ 河川橋りょう PCI型桁、橋台、橋脚

- 担当は、33歳、28歳、24歳
  - ✓ 軌道重量と軌きょう重量事件  
バラスト重量忘れて死荷重計算  
バラスト重量入れたら、フォーテングのせん断がNG  
もう工事契約は終わっているのに
  - ✓ しかし、せん断スパン比の影響とやりに救われる
- 教訓:素人が設計するな!(2回目)  
コンサルタントってすごい



### ■ 配筋の手引き問題—構造計画との出会い— 1986(昭和61年)

#### ■ 国鉄時代最後の仕事 / 鉄道事業者への技術伝承

- ✓ 構造計画の手引き
  - ✓ 配筋の手引き  
担当の希望調査をしたら、構造計画は15人、配筋の手引きは3人
- 上司 配筋バラバラだから、統一して!  
RCは、所詮鉄筋の並べ方だから。

教訓:構造計画が設計の基本らしい



### ■ 合成桁のコンクリート床板設計の整合性問題1990(平成2年)頃

#### ■ 設計標準間での整合性は?

- ✓ 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)  
私の担当は、終局限界状態(曲げ、せん断、ねじり)
- ✓ 鉄道構造物等設計標準(鋼、合成桁)  
合成桁の床板の耐力

$$\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \left( \frac{N_c}{N_{uc}} + \frac{M_c}{M_{uc}} + \frac{M_y}{M_{uy}} \right) \leq 1$$

- ・平面保持で解けば、RC桁も合成桁も同じ計算なのに
- ・RC部分なのに、なぜ、同じ計算しないの

教訓:歴史と伝統は、整合性より勝る。



■ SRC部材のせん断耐力問題 1993(平成5年)頃

■ せん断耐力算定式の実験的検討

✓ 鉄道構造物等設計標準(複合構造物)の制定作業

私の担当は、またまた終局限界状態  
累加方式?合成方式?

$$\frac{V_{su}}{V_s} \geq 1.0 \quad \frac{V_{rcu}}{V_{rc}} \geq 1.0$$

✓ せん断破壊するはずの実験が、すべて曲げ破壊で顔面蒼白  
信じた式が、まったく違った?

教訓:設計基準の式は、真の振舞いを表すとは限らない。



■ SRC部材のせん断耐力問題 1993(平成5年)頃

「もう誰も信じない!」気分。  
そして、結果は結局、次式となる。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} + \alpha \cdot V_{rd}$$

単なる足し算だけど、ほんといいのかな?

(補足)

研究費はどぶに捨てた?

たまたま、曲げひび割れ性状(剛性、ひび割れ幅と間隔)の  
計測をしていた。

せん断の報告書なのに、曲げひび割れ性状の考察ばかり

■ SRC部材のせん断耐力問題 1993(平成5年)頃

(反省)

その後、こういう案に解決する手法に、たびたびお世話になる。

実験結果を既往の算定式の計算値で割って、その比をパラ  
メータの関数にすれば、すぐに式は出来る。

人は、それを  $\alpha\beta$  法という。

論文の査読は通るし、研究者の気分にもなれる。妙な達成  
感も得られる。

しかし、この方法は、問題をしのいだけで、何も解決してい  
ないことに、その後気付くことになった。

■ この頃のその他の仕事

- 千葉県東方沖地震 (1987年(昭和62年)12月17日)
- 釧路沖地震 (1993年(平成5年)1月15日)
- 北海道南西沖地震 (1993年(平成5年)7月12日)
- 北海道東方沖地震 (1994年(平成6年)10月4日)

釧路沖地震



北海道南西沖地震



✓ 先発部隊として、調査、復旧

✓ 身につけたもの: 度胸と損傷スケッチ力

教訓: 学会や先生は、被害調査と報告会、技術者は復旧作業

■ そして、あの日が来た 1995(平成7年)1月17日

■ 兵庫県南部地震/阪神大震災



翌日に大阪入り、その後、調査、復旧作業  
学会は、被害調査と報告会(写真撮って帰って行く。不信心MAX)

■ 駅部SRC高架橋ひび割れ問題 1995(平成7年)1月24日

おりしも時は阪神大震災の数日後

■ SRCラーメン高架橋のスラブや梁に、たくさんのひび割れ発生

想定より、ひび割れ幅が大きすぎる

✓ 施工法とひび割れ制御方法を修正して  
問題解決

施工とひび割れの関係を知る。

✓ 頭でわかっていたが、体でわかっていなかった。

実物の載荷実験みたいなもので鉄道標準には貢献

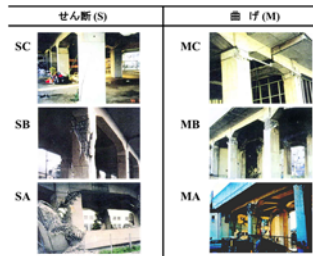


平永佐知子, 渡辺忠朋, 谷村幸裕: 鉄骨鉄筋コンクリートラーメン高架橋の曲げひび  
割れ性状, 第50回土木学会年次学術講演会, 概要集V部門, pp.780~781, 1996.9

■ SRC、CFT変形性能算定手法問題 1995(平成7年)

■ 国鉄時代からの地震後の復旧対応の教え

損傷と修復ありき  
 (質問)これ直して使えるのか?  
 新聞記者など  
 (回答)壊れていない。傷ついただけ。  
 構造物は損傷し、それを修復することが前提になっていることを、設計段階で認識してもらう必要性を痛感。



復旧性の明示へと繋がる

■ SRC、CFT変形性能算定手法問題 1995(平成7年)

■ RC構造 損傷状態を考慮した変形性能算定法

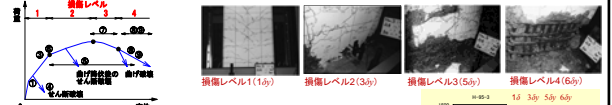


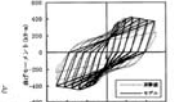
図 鉄筋コンクリート部材の損傷レベルに対する補修工法のイメージ

損傷レベル	損傷状況	補修工法のイメージ
損傷レベル1	無損傷	無補修(必要により耐久性上の配慮)
損傷レベル2	場合によっては補修が必要な損傷	必要によりひび割れ注入・断面修復
損傷レベル3	補修が必要な損傷	ひび割れ注入・断面修復。必要により帯鉄筋の整正
損傷レベル4	補修が必要で、場合によっては部材の取替えが必要な損傷	ひび割れ注入・断面修復・帯鉄筋等の整正 ・軸方向鉄筋の座屈が著しい場合は部材の取替え

渡邊忠明, 谷村幸裕, 瀧口将志, 佐藤勉: 鉄筋コンクリート部材の損傷状況を考慮した変形性能算定手法, 土木学会論文集 No.683/V-52, 2001.8

■ SRC、CFT変形性能算定手法問題 1995(平成7年)

■ SRCもCFTもSも、RCと同じコンセプトで変形性能算定手法を作成



- ✓ 村田清満, 池田学, 河合治, 瀧口将志, 渡邊忠明, 木下雅敬: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の変形性能の定量評価に関する研究, 土木学会論文集, No.619/I-47, 235-251, 1999.4
- ✓ 村田清満, 山田正人, 池田学, 瀧口将志, 渡邊忠明, 木下雅敬: コンクリート充填円形鋼管柱の変形性能の再評価, 土木学会論文集, No.640/I-50, 149-163, 2000.1

教訓: RC、SRC、CFT、Sの整合性はとれる

■ 損傷レベルでいいのか? 1995(平成7年)

■ なんかい言葉ないかな〜?

「損傷の状況? 程度? レベル?  
 とりあえず損傷レベルにしよう〜」

今では、「損傷レベル」という言葉が、鉄道事業者では平易に使用され、地震が来たら損傷しても、当たり前に入力できるようになった。

■ 鋼の座屈問題 運命の出会い 1995(平成7年)

コンクリート委員会

複合構造物設計・施工指針(案)

委員長 三浦 尚  
 幹事長 上田 多門

天野玲子 伊藤昭夫 緒方紀夫 清宮 理  
 塩谷俊幸 高久雅喜 田嶋仁志 中島章典  
 古屋信明 吉川 紀 渡辺忠朋 渡辺博志

皆さん有名人ばかり  
 なんで私がメンバーなのか? 若すぎる。  
 複合だから、私でもいいのか?

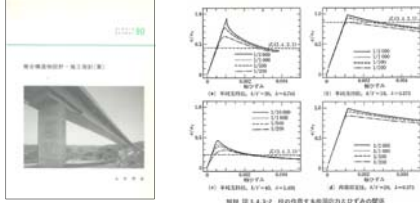
■ 鋼の座屈問題 運命の出会い 1995(平成7年)

■ 鋼がコンクリートとくっついてたら座屈後にどうなるか?

- 3.4.3 コンクリートと一体となった鋼材の圧縮強度
- (1) 鋼材が完全にコンクリート中に埋め込まれ、圧縮力を受けても座屈のおそれのない場合の鋼材の圧縮強度の特性値は、引張強度の特性値 $f_{tk}$ と同一の値としてよい。
  - (2) 鋼材がコンクリートの表面にある合成部材においては、鋼板が局部座屈を起こすおそれがあるので、その影響を実験や適切な解析により確認しなければならない。
  - (3) コンクリートの表面にある鋼板の局部座屈後の圧縮強度は、鋼板に取り付けられた補剛材の効果を適切に考慮して定めることを原則とする。

■ 鋼の座屈問題 運命の出会い 1995(平成7年)

■ 鋼がコンクリートとくっついてたら座屈後にどうなるか？



教訓: 学会でも歴史と伝統に立ち向かって大変なことだと知る。  
学会は真実の追求の場で、いい先生もいることを知る。

■ 複合構造の設計体系問題(連合小委員会) 1999(平成11年)

目的: 鋼構造物設計指針PART B合成構造物/鋼構造委員会と複合構造物設計・施工指針(案)/コンクリート委員会の統一

鋼・コンクリート合成構造連合小委員会

共通WG

主査 栗田章光

副主査 伊藤壮一

委員

小林洋一 田中祐人 村山八洲雄 横田 弘 渡辺忠朋

合成版WG

主査 中島章典

副主査 小林洋一

合成はりWG

主査 上田多門

副主査 田中祐人

合成柱WG

主査 市川篤司

副主査 村山八洲雄

混合構造WG

主査 丸山久一

副主査 横田 弘

■ 複合構造の設計体系問題(連合小委員会) 1999(平成11年)

■ 都内のとある会議室で

- ✓ どんな指針にする?  
限界状態設計法にする。
- ✓ いや、鋼構造、コンクリート構造、複合構造の共通のフォーマットを目指す
- ✓ 今作るなら、性能照査型でしょ。
- ✓ 性能規定になれば、高い性能の材料が利用可能になるはず。

栗田先生と伊藤さんが大英断。当時としては先進的

■ 想定: 新しい体系でなら、CもSもHも整合をとれるはず

■ 合成柱の軸力と曲げの相関問題 1999(平成11年)

私は、なぜか合成柱担当

- ✓ 藤井先生からの電話(メールじゃない)  
これダメなの?なんで?

$$\frac{P_s}{P_{us}} + \frac{M_s}{M_{us}(1 - P_s/P_{crs})} \leq 1$$

これって耐力じゃないですよ?

教訓: 歴史と伝統の違いは議論を尽くせば乗り越えられる。

■ 合成柱の軸力と曲げの相関問題 2002(平成13年)

6.2.2 曲げモーメント及び軸方向力に対する検討

6.2.2.1 一般

(1) 部材破壊の限界状態に対する安全性の照査は、軸方向力が作用する曲げ部材として求めた設計曲げモーメント $M_d$ が設計曲げ耐力 $M_{ud}$ に対して、かつ設計軸方向圧縮力 $N'_d$ が設計軸方向圧縮耐力 $N'_{ud}$ に対して、式(6.2.1)の条件を満たす方法により行うことを原則とする。

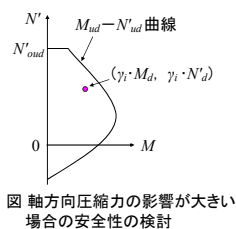
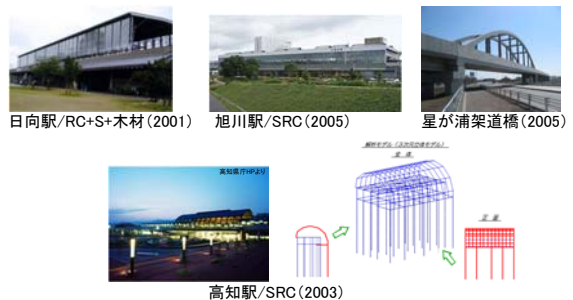


図 軸方向圧縮力の影響が大きい場合の安全性の検討

■ 複合構造物のお仕事



## ■ 複合構造の性能照査指針改定問題 2007(平成19年)

複合構造委員会(2005年設立)

### 複合構造物の性能照査指針小委員会

部会長 中村俊一  
副部会長 中島章典  
幹事長 渡辺忠朋

共通編WG主査 渡辺忠朋  
異種部材接合部編WG主査 中島章典  
FEMWG主査 島 弘

### 幹事

池田 学 奥井義昭 小林洋一  
斎藤成彦 島 弘 武知 勉  
趙 唯堅 溝江慶久

## ■ 鋼板と鉄筋の材料係数問題 2007(平成19年)

### 表 鋼板の材料係数

	材料係数 $\gamma_s$
安全性	1.05
疲労に対する安全性	適切に定める
使用性	1.0
復旧性	1.05

鋼材チームが激怒

✓ 鉄筋が1.0で、鋼板が1.05  
なんでだ!

✓ 鋼板は、鉄筋より品質管理を  
徹底して製造しているのに

結論: 鉄筋は実物を引っ張る。

鋼板は切り出した試験片を引っ張る。

鉄筋もD51以上の太径なら引張れないから1.05ってこと  
ですよな?

## ■ 示方書と親委員会のガバナンス問題 2009(平成21年)

横田先生(宇都宮での複合幹事会からの帰り新幹線車中で)

### ■ 指針なんて言わないで示方書にしたら~

示方書にするなら、委員会全員が合意しないとだめだよな~  
出版を1年延期して、示方書委員会(上田多門先生)の設置  
委員会審議と外部意見照会 設計編の完成・出版

教訓: 複合構造委員会での示方書に対する  
ガバナンスが確立

焼肉屋で焼肉食べられなかった事件の日



## ■ 複合構造物などのお仕事

などのお仕事



玄若橋/FRP(2011)



余部橋りょう/PC(2007)



広瀬川橋りょう/PC(2009)

## ■ 示方書は設計編だけなの問題 2010(平成22年)

### ■ 施工編と維持管理編が無いと示方書としては完成してないよね。

### 複合構造標準示方書小委員会

委員長 中島章典  
幹事長 渡辺忠朋  
委員

池田 学 齊藤成彦 島 弘 西崎 到  
古市耕輔 牧 剛史 溝江慶久

### 原則編部会

### 設計編部会

### 施工編部会

### 維持管理編

主査 中島章典 主査 池田 学 主査 島 弘 主査 齊藤成彦  
副主査 渡辺忠朋 副主査 齊藤成彦 副主査 古市耕輔

## ■ 示方書はスタンダードかスペックか問題 2010(平成22年)

### ■ 性能照査の理念を達成するためには、照査の規定で構造物の制約は作らない。

設計編, 施工編, 維持管理編の構成

✓ 標準編 現時点で、全構造に適用可能な標準的手法  
解析法などの大きな進歩がない限り普遍

✓ 仕様編 構造種別ごとに、実務に用いる手法  
標準編を満足し、実績があり推奨できる代表的手法





■ 構造性能評価問題(維持管理編) 2011(平成23年)

- ✓ 世の中では、ひび割れ注入、断面修復がはやり、部材の外縁だけを補修
- ✓ 材料劣化の対応だけでいいはずない！  
不要な補修が横行していないか？  
必要な対策はとられているのか？
- ✓ 評価や対策は、構造物の性能に対して行われるべき
- 既設構造物の性能評価を導入  
数値解析を駆使した定量的評価方法



■ 複合構造の基本(ずれ止め問題) 2009(平成21年)

複合構造ずれ止めの性能評価法に関する調査研究小委員会

委員長 中島章典  
幹事長 渡辺忠朋

委員

池田 学	大久保宣人	齊藤 成彦
島 弘	杉浦 邦征	平 陽兵
高橋 良輔	田中 照久	趙 唯堅
藤井 堅	古内 仁	牧 剛史
溝江 慶久	皆田 龍一	山田 真幸



キャッチコピー：君もずれてみないか？

■ 複合構造の基本(ずれ止め問題) 2014(平成26年)

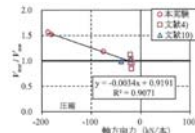
■ ずれ止めのせん断耐力 / 摩擦の影響

$$V_{Nssud} = V_{0ssud} + \mu \cdot N'_d$$

平陽兵, 渡辺忠朋, 齊藤成彦, 溝江慶久, 島弘, 中島章典: 制御されたせん断力と軸方向圧縮力を受ける頭付きスタッドのせん断耐力とせん断力-ずれ変位関係, 土木学会論文集A1, Vol.70, No.5, II\_69-II\_80, 2014.

$$V_{Nssu} = \alpha \cdot V_{ssu}$$

$$V_{Nssu} = (0.081N / N_0 + 0.92) V_{ssu}$$



教訓：パンドラの箱を開けてしまった？

残された課題は、古内先生、高橋先生へ

■ 設計編・施工編・維持管理編という区分はいいのか問題 現在

示方書改定小委員会

委員長 渡辺忠朋  
幹事長 齊藤成彦

幹事

池田 学	岩波光保	国枝 稔	北根安雄	西崎 到
広瀬 剛	古市耕輔	牧 剛史	山田正人	

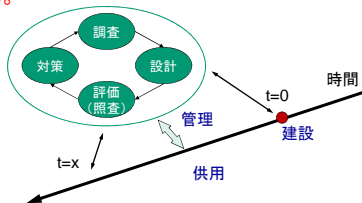
委員

大久保宣人	小林 朗	下村 匠	平 陽兵	立神久雄
谷口 望	玉井真一	利根川太郎	内藤英樹	中村一史
仁平達也	橋本国太郎	判治 剛	星加益朗	増井 隆
松本高志	溝江慶久	皆田龍一	若林 大	渡辺 健

■ 設計編・施工編・維持管理編という区分はいいのか問題 現在

- ✓ 時間軸の影響を考慮した性能評価法を導入すれば、新設既設の区分はなくなる。

$$\gamma_i \cdot S_d / R_d \leq 1.0$$



- ✓ 建設段階と管理段階の作業のモジュール化

■ PC下路橋問題

- ✓ JR●●●の友人から電話(メールじゃない)

連続立体交差の架道橋でスパン60mで桁高制限あるから、普通にやるとPC下路桁になるんだけど、桁高4~5mで壁に見えるちゃうし、やりたくないんだけど。ほかにいいのなか考えて？



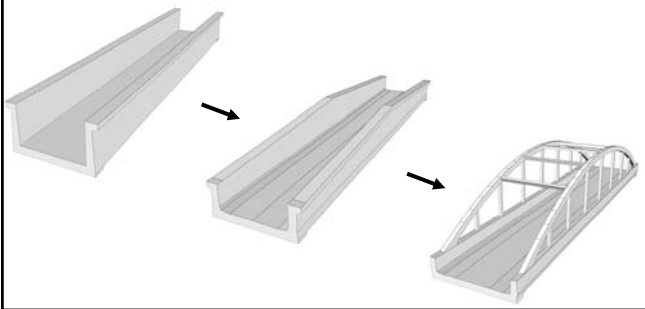
### ■ PC下路橋問題

- 条件 スパン60m程度
  - ✓ 桁高制限 有り
  - ✓ 地盤は、軟弱で、支持層はGLマイナス60m以上
  - ✓ 海岸から近い
- 自分の中での構造上の制約条件
  - ✓ 桁の高さは、近接の高架橋の高欄の高さに合わせる。
  - ✓ 接合部は、力学的に明快で、出来るだけ簡素で施工品質を確保できること。
- 立地条件上の制約条件
  - ✓ 周辺の生コン工場のコンクリート強度の実績
  - ✓ 海が近いので鋼材腐食対策を入念に実施

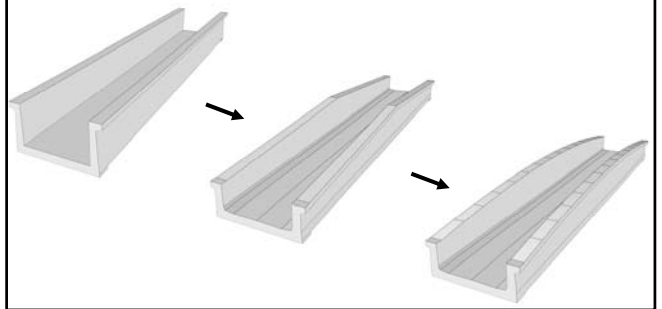
### ■ PC下路橋問題

- 自分のなかでの価値基準 / VS PC下路橋
  - ✓ かつこよくて、構造として合理的な橋
  - ✓ 上・下部トータル工事費 軽くして、杭減らして

### ■ PC下路橋問題



### ■ PC下路橋問題



### ■ PC下路橋問題



- ✓ ランガーのライズは、何種類か計算して、構造力学上、いい感じのところを決めた。
- ✓ 感性としては、もう少し低くしたかった。
- ✓ 自分の感性は、構造力学と少々乖離があることを知る。

### ■ PC下路橋問題

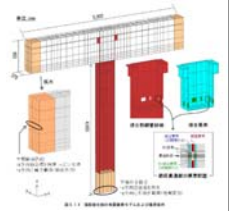
#### ■ 照査(接合部)

##### ✓ 実験

土井至朗, 川村力, 枝松正幸, 松岡茂: 下路桁形式複合PCランガー橋接合部の安全性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, pp.1183-1188, 2009

##### ✓ 数値解析による検証

牧剛史, 川村力, 上田多門, 土屋智史, 渡辺忠朋: 鋼-コンクリート複合PCランガー橋接合部の引抜き抵抗に関する数値解析的検討, 土木学会論文集A, Vol.66 No.3, 491-504, 2010.8



#### ■ 施工

施工品質の確保

## 照査法の変遷

- 1990年代以前 許容応力度法  
線形解析 部材モデル
- 1990年代 限界状態設計法  
非線形解析 骨組みモデル
- 兵庫県南部地震以降の耐震設計の進化  
非線形解析がコードライターから、設計実務者へ
- 2000年代 性能照査型設計体系  
性能の設定、照査方法、設計そのものが、コードライターから、設計実務者へ

## 照査方法の種類と区分のイメージ

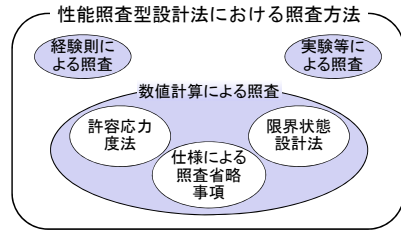
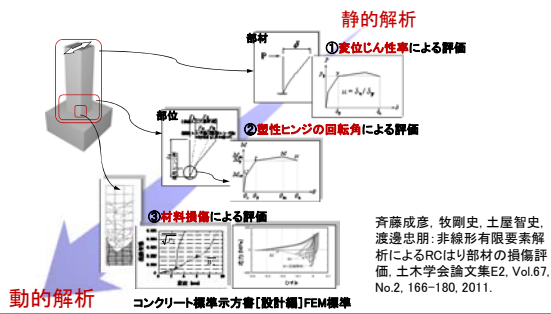


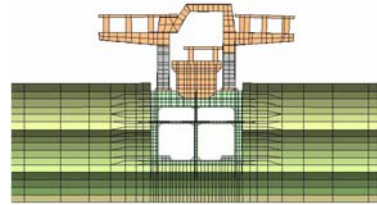
図1.1 照査方法の種類

## 耐震性能照査法の変遷



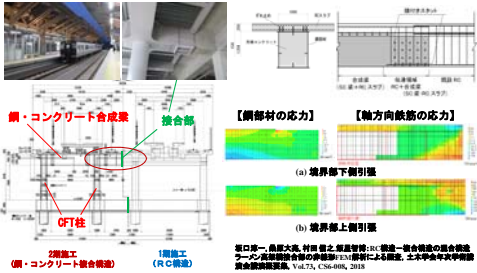
## 既設構造物などの性能照査

### ■ 地盤-構造物 一体モデル



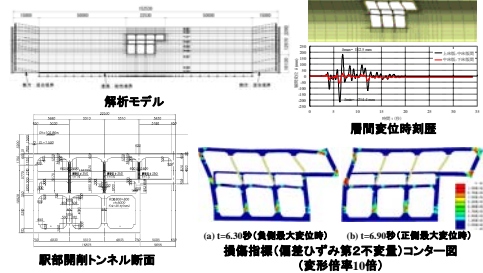
## 混合構造の鉄道駅部ラーメン高架橋の設計と接合部の照査

RC構造として1期施工部を構築した後に、複合構造の2期施工部を構築して1期施工部と一体化する混合構造のラーメン高架橋。



## 有限要素解析による開削トンネルの地震時照査

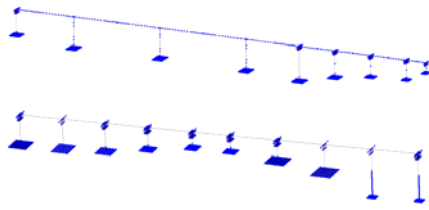
地盤-構造物連成の2次元有限要素解析モデルによる、開削トンネルの地震時の照査





## 鉄道の列車走行性の解析

### ■ 橋りょう群での解析



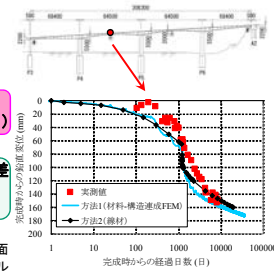
列車走行安全性検討のための解析モデル

## PC長大橋の長期たわみ予測

### ■ 長期たわみの算定 2012年版 土木学会 コンクリート標準示方書

方法1  
材料-構造連成応答解析  
(東京大学 DuCOM-COM3)

方法2  
断面部位ごとの収縮量の差  
を考慮できる、線材による  
構造解析手法



渡邊忠朋, 土屋智史, 坂口淳一, 笠井尚樹: 断面の部位別に時間依存挙動を考慮した線材モデルによるPC橋梁の長期たわみ解析, 土木学会論文集E2, Vol.69 No.2, 207-226, 2013.

図: PC長大橋のたわみの解析  
【月夜野大橋(群馬県)】 N o. 50

## 照査技術の現状と課題

- 照査技術の目的
  - 構造物の振る舞いを精度良く推定すること
- 従来
  - 新設構造物の性能照査技術が主眼
- 現在
  - 既設構造物の性能照査技術(時間軸)の構築
- 非線形有限要素解析技術の維持管理への適用
  - 材料劣化や損傷の影響を, ありのままに考慮
  - 現在の方法(新設計法)では, 不可能(適用範囲は限定的)

照査技術は, 進化した!  
さて, 設計技術は?

## ところで?

- 照査を満足さえすれば, 必ずよい設計となるか?

$$\gamma_i \cdot S_d / R_d \leq 1.0$$

## 原点に立ち戻って

- 性能設計とは?
  - 透明性と公開性
  - 客観的評価の義務づけ
  - 創造的活動と新技術の展開
- 性能設計で必要とされるものは?
  - 性能照査技術(構造物の振る舞いと性能判定)
  - 透明性-客観性-創造主観のバランス
  - ガイドライン(ノウハウ)と照査(ルール)の区別
  - 試される設計者の力量

コンクリート委員会、耐震研究小委員会(303)、丸山久一委員長、1995-1999、報告書より

## 透明性・客観性・創造主観のバランス

### ■ 性能を満足する多数の解からの設計解の選択

最適設計問題とすれば、

目的関数 :  $f(x) \rightarrow \min$

制約条件 :  $g_j(x) \leq 0 \quad (j = 1 \sim m)$

$h_k(x) = 0 \quad (k = 1 \sim m')$

$x^L \leq x \leq x^U$

設計変数 :  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$

照査を満足する無数の設計解から、唯一の設計解を選択して作業は終了

※目的関数は、意思決定要因(工学的価値基準)

工学的価値基準に基づいて透明性、客観性を確保

## ガイドライン(ノウハウ)と照査(ルール)の区別

### ■ 設計とは、

要求される機能や性能を念頭において、計画されたものを具体的に表す行為

構造設計, 部材設計, 材料設計

### ■ 照査とは、

設計された構造物, 部材, あるいは材料が, 要求性能を満たしているか否かを判定する行為

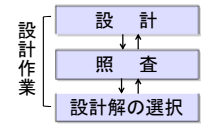


図 設計作業とその流れ

## 試される設計者の力量(1)

### ■ 設計

技術者が想像する行為  
計算行為は、不要

↓  
技術基準で規定されない

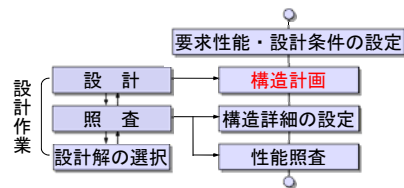
### ■ 照査

設計された構造物の性能の満足度を  
確認する行為

説明責任を果たす行為として数値計算が必要

↓  
技術基準で規定

## 試される設計者の力量(2)



設計解の良し悪しは、構造計画で決定される

かつて、国鉄の技術者が、構造計画の手引きを優先した理由がここにある。

## 設計の基本

### ■ 構造計画の基本原則

用・強・美

### ■ 性能照査型設計体系下では

■ 強とは、安全性

■ 用とは、使用性

■ 美とは、景観

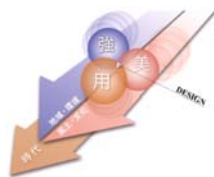


図1.4 設計の基本原則

## 設計/時代の影響(1)

### ■ 入手可能な使用材料の変化



通潤橋



余部橋りょう

石材, 鋼材, そしてコンクリートへ

## 設計/時代の影響(2)

### ■ 構造の変化



余部橋りょう

鉄橋の100年後は、PC橋梁となった

## 設計/地域の影響(1)

### ■ 気象条件の影響(建築物では)



住居形態

土木構造物は、全国一律？

## 設計/地域の影響(2)

### ■ 主たる偶発作用の影響



ミヨー高架橋

我が国では、地震の影響が主役

## 設計 / 構造計画

### ■ 構造計画の現状(橋梁の例)

分類・形式	構造形式	断面形式	適用区間(km)				制橋・支間数
			100	200	300	400	
単純鋼桁1車線1車	鋼桁	[断面図]	0	0	0	0	1/14 ~ 27
単純鋼桁1車線2車			0	0	0	0	1/13 ~ 23
単純鋼桁1車線1車	鋼桁	[断面図]	0	0	0	0	1/16 ~ 21
単純鋼桁1車線2車			0	0	0	0	1/16 ~ 25
単純鋼桁1車線1車	鋼桁	[断面図]	0	0	0	0	1/19 ~ 26
単純鋼桁1車線2車			0	0	0	0	1/16 ~ 22
連続鋼桁1車線1車	鋼桁	[断面図]	0	0	0	0	1/15 ~ 25
連続鋼桁1車線2車			0	0	0	0	1/20 ~ 30
鋼桁箱形橋	鋼桁	[断面図]	0	0	0	0	1/22 ~ 29

構造計画は、構造形式の選定か？

## 設計姿勢 / 現状でできること

### ■ 現状

- ① 過去の類似事例を用いる設計
- ② 過去の類似事例の改善を図る設計
- ③ 過去に例のない設計

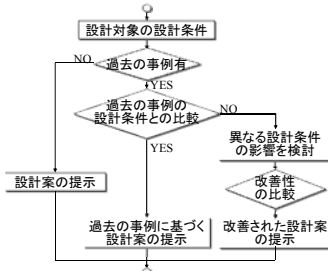


図1.5 現状の設計手法の区分

## 設計姿勢 / 本音

### ■ Code340では

表1.1 設計姿勢と関連事項の関係のイメージ

レベル	設計姿勢	設計自由度	設計技術	照査技術	技術の進歩	技術基準	設計の例
1	創造	高	高	高	高	性能照査型	創造的構造形態
2	改善・創造	中	中	中	中	性能照査型	改善的構造形態
3	踏襲	低	低	低	低	仕様規定型	既存構造形態

どのレベルを目指すか？

技術者が謙虚に判断

鉄筋コンクリート構造物の設計システム-Back to the Future II, コンクリート技術シリーズ104, 平成26年7月

## 設計で考えること

- ✓ 供用期間の構造物の性能の確保
- ✓ 100年後の構造物の状態を設定して、構造・材料の詳細を決める。
- 設計は、100年間以上のスケールで生じ得ることに対する対応方針と、その方法を具体的に構造物の姿形にすること。
- **性能照査の想定外の事象を考えるのは当然**  
照査技術は、ある設定の基での証明であり、万能ではない。それ故、設計でカバーする。
- **照査は必要条件、設計は十分条件とも言える**

## 「想定外」と「残余のリスク」に対して

- 東日本大震災が残したもの



リダンダンシー(冗長性)とロバストネス(頑健性)  
コードライターは常に配慮(ただし、陰な形で)  
本当に性能設計をするなら、設計技術者の義務

鉄筋コンクリート構造物の設計システム-Back to the Future II, コンクリート技術シリーズ104, 平成26年7月

## ブラック・スワン

- ナシム・ニコラス・タレブの『ブラック・スワン』

第一に、異常であること。つまり、過去に照らせば、そんなことが起こるかもしれないとはっきり示すものは何もなく、普通に考えられる範囲の外側にあること。

第二に、とても大きな衝撃があること。

第三に、異常であるにもかかわらず、私たち人間は、生まれつきの性質で、それが起こってから適当な説明をでっち上げて筋道をつけたり、予測が可能だったことになってしまったりすること。

想定外の作用に対して、確率論的なアプローチが難しい

鉄筋コンクリート構造物の設計システム-Back to the Future II, コンクリート技術シリーズ104, 平成26年7月

## ブラックスワンに対して

- **想像力と意思と勇気の問題**

- ① 設計者は「想定外」で引き起こされる事態を「想定」した上で、**何を防ぎ、何を許容したのか**、それによるコスト増も含めて表明し、**できることとできないことを明確**にしなければならない。(勇気)
- ② 設計作業においては、構造物の機能あるいは、**安全性がどのような形態で喪失するのか**について、**設計者は明確なイメージを持ち、必要に応じてそれを示す必要がある**。(想像力)

鉄筋コンクリート構造物の設計システム-Back to the Future II, コンクリート技術シリーズ104, 平成26年7月

## 示方書や基準がもたらしたもの

- ✓ 設計編・施工編・維持管理編という現在の分業制の基準体系が、「本来の設計」の障害になっていないか？
- ✓ 高度経済成長時の社会のため？  
限られた時間での大量生産時代では効率的
- ✓ 現在や未来の社会に、適合するのか？
- **そもそも「設計」の概念を、新設構造物の設計という狭い領域に閉じ込めたのは誰だ！**
- **技術者にとって、「設計」は、もともと建設や管理も含めた広い領域のマネジメント行為だったことに回帰しては？**

## 示方書(妄想編)

- **示方書(妄想編)**

- ✓ 管理編  
構造物のマネジメント(設計)
- ✓ 調査編  
情報の取得 調査・測量・点検
- ✓ 性能評価編  
時間を関数とした性能評価技術
- ✓ 対策編  
建設作業編, 修復作業編

## できるならやってみよう性能照査(4次元解析?)

### ■ 蛇足 時間関数の性能評価技術の利用

100年後の構造物の状態を入力して、時間で逆解析すれば、新設構造物の構造・材料諸元が算定できる。  
現在でも、出来る人は一人いるはず。

## よい設計(性能設計)を達成するために

### 設計技術者へ

性能設計をしたいのなら、コードライターと同等以上の知見や技術を持つことが必須です。

### コードライターへ

性能設計と言うならば、構造物の真の振る舞いを推定できる照査技術の検討に邁進してください。過去の照査技術の改善に終始するのは、想像力や冒険心が無いように見えます。

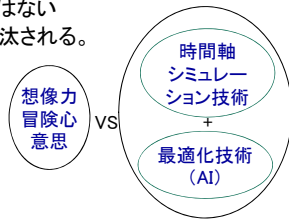
### 有識者へ(自分も含めて)

新しいことに警笛を鳴らすのは如何にも高貴に見えます。しかし、勇気や冒険心が無くなったとも見えます。もう、任せましょう。そして支援しましょう。

## これからの技術者の環境と未来予想図

- ✓ シミュレーション技術を駆使した仮想空間で、経験を重ねる。
- ✓ もはや、土木は経験工学ではない
- ✓ 不要な経験論は、簡単に淘汰される。

- 技術を創る技術者
- 技術を駆使する技術者



必要なものは、

**想像力と冒険心そして勇気**

よい構造物を設計することは、  
技術者自身に委ねられている

ご清聴ありがとうございました

### ■ BACK TO THE FUTURE

我々の目の前にあるのは過去である。未来は、背後にある。  
過去を見て、未来を予測することしかできない。

## 設計の心得(1)

### 「設計の心得(設計八策)(案)」

- よい設計をするために、設計作業を設計と照査に区別せよ。
- 設計は創造、照査は証明と心得よ。
- 設計は、経験とありったけの想像力を駆使して、構造物の環境下での生涯を見通して行うと心得よ。
- 設計では、価値基準(目的関数)、制約条件、設計変数に区分せよ。とりわけ、価値基準は明確にせよ。価値基準なきものは、設計解とは言わず。

## 設計の心得(2)

### 「設計の心得(設計八策)(案)」

- 想像に基づいて設計する場合は、設計解の優位性を明確に主張せよ。ただし、その主張は、批評に対して客観的に説得出来るものでなければならない。
- 経験や実績に基づいて設計する場合は、設計対象や、構造物の建設地点の特異性を見出し、常に改善せよ。
- 照査を満足する設計解は無限にあり、設計解の選択をして設計作業が終了すると心得よ。
- 照査基準によることは、設計解の満足度の一つの証明であり、設計解の優位性とは無縁であると心得よ。