第 6 回　鋼構造技術継承講演会

「経験豊富な先人に学ぶ次世代への承継技術」

配布資料

平成 30 年 12 月 17 日

土木学会　鋼構造委員会

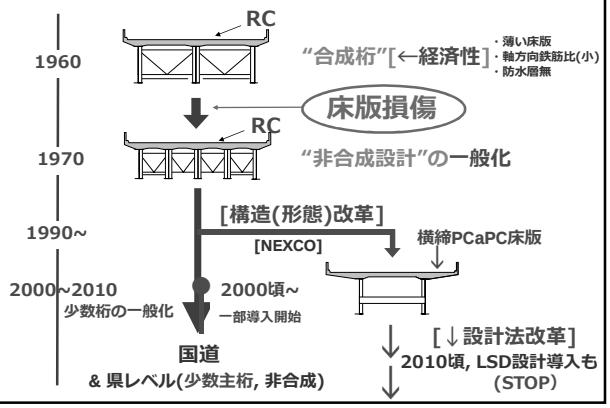
第6回鋼構造技術継承講演会

合理化桁(少数主桁)橋建設
から
性能照査型限界状態設計法導入へ

2018.12.17

長岡技術科学大学名誉教授
長井　正嗣

鋼I桁橋の変遷

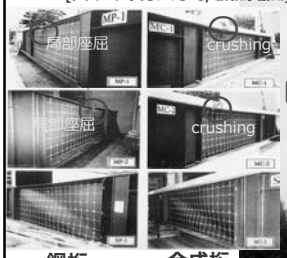


フランス, オピタル橋
広幅員2主I桁橋[衝撃]
若い時, 広幅員鋼床版2主桁橋他は
勉強したが, こんな長スパン床版・・

千鳥の沢川橋(東日本高速道路)

高速自動車道, 日本初の連続合成2主I桁橋

鋼桁，合成桁の破壊実験と
新しい少補剛設計法導入
[アスペクト比3.0まで, 腹板厚低減]

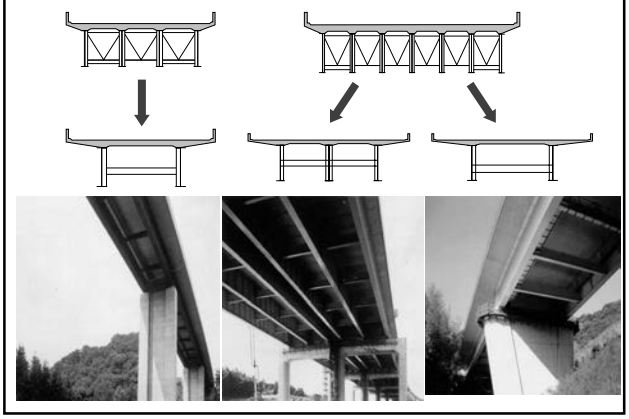


[曲げ]

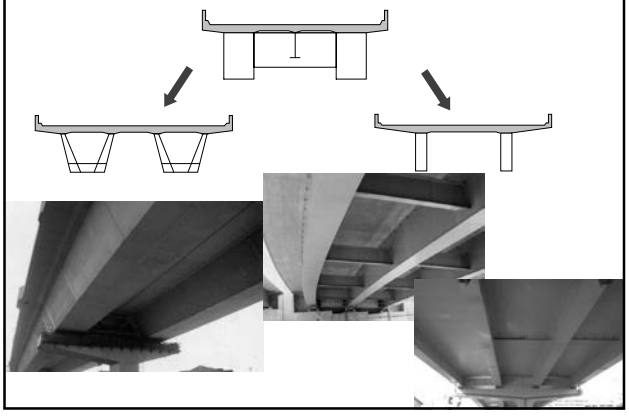
[せ

-鋼桁-　-合成桁-

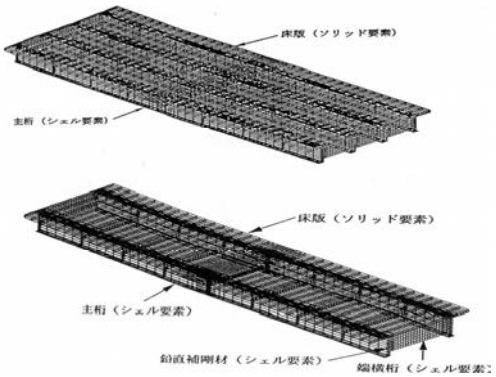
構造改革：構造形態のシンプル化(I桁橋)



構造形態のシンプル化(箱桁橋)

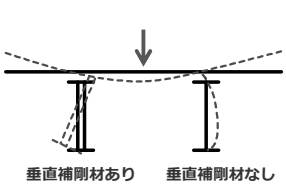


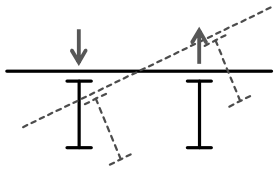
FEAによる立体挙動, 断面変形(2次応力)の把握



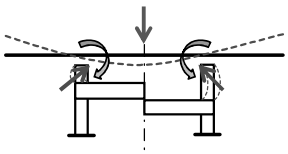
ソリッド[床版]要素, シェル[鋼桁]要素

2主I桁断面の断面変形





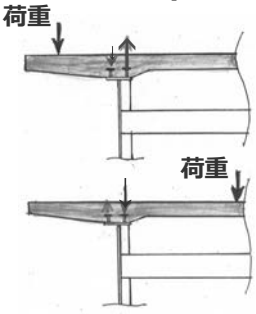
【剛体回転】



赤矢印先端部を除いて
2次応力 → 小

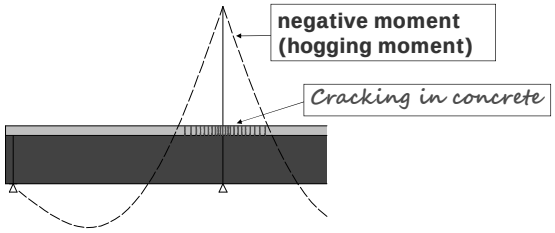
横桁位置 ← 横桁に発生する応力は小さい

スタッドの引抜き力(↑)
(横桁位置)



広幅員2主桁橋では, 温度変化で大きな引き抜き力, 応力発生
（1日1回）

ひび割れ(幅)制御設計

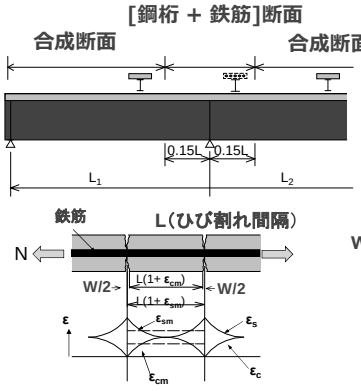


道示(日本) : $\rho_s = 2\%$

海外 NEXCO } : ひび割れ制御設計

$$\rho_s = \frac{\text{鉄筋の断面積}}{\text{床版断面積}}$$

[鋼桁 + 鉄筋]断面



$W + L(1+\varepsilon_{cm}) = L(1+\varepsilon_{sm})$

$W = L \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$

↓ 安全サイド

$W = L \cdot \varepsilon_{sm}$

(ε_{sm}：鉄筋の平均ひずみ)

↓ ひび割れ後の収縮量 $\varepsilon_{csd}(=-150\mu)$

$W = L \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{csd})$

W：ひび割れ幅 = {ひび割れ間隔 x 鉄筋の平均ひずみ}

床版ひび割れ試験

(PCaPC版連続合成化挑戦)

↓【Message】

スタッド強度, 安全率の見直し → スタッド配置可能に!!

しかし, プレキャスト版ループ継ぎ手部のひび割れ制御ができず
→「連続化を断念」

[中間支点位置, 日本と欧州, 鉄筋量に大きな違い]

・スパン50mの連続合成桁(日本) :
鉄筋比 ρ_s = 2.6%[*]
[*]プレキャストPC床版の連続合成化が厳しい状況

一方,
・スイス, フランスの例(スパン80mの連続合成桁) :
鉄筋比 ρ_s = 1.5~2.0%

一提案 : [付録-1]参照ください

橋構造形態のシンプル化

・少数主桁(2主桁や3主桁)
・厚板少補剛(座屈防止の補剛材数を減)
・シンプルな横補剛システムの採用

⇓

・点検しやすい(←ICT導入しやすい)

・塗装面積少ない

・応力集中部無し→疲労設計(照査)可能となる

【今のところ不都合を聞かない】

⇓

次世代(100年先を見据え)リニューアル橋梁とすべき!!
(より高い防食機能を備え,
ICT技術を導入しつつ徐々に更新すべき)

ODA, JICAインフラ海外輸出, 展開

日本技術 (日本技術活用)の橋として, ←[STEP]

(現在)合理化桁(経済的で高耐久)が
多く提案されている, 一般化している.[*]

[*]合成2主桁橋(長スパン用)の提案とともに(日本のコンサル提案)

技術開発, 導入が海外輸出展開につながる!!

鋼系橋梁の競争性向上対策ストーリー

[2000年代にはいって]

構造形態の改革(少補剛少数桁の一般化)

→[次の一手]

→ 設計法改革(LSD導入)

限界状態設計法と合成桁

導入トライ, ポイントは!!

・終局限界(安全性能照査),
使用限界(使用性能照査)の2段階設計

・終局強度として塑性強度*を考える

*合成桁(正曲げ)曲げ強度は塑性強度で降伏強度の1.3~1.5倍

[終局状態として降伏強度でなく最大強度を採用する]
↑AASHTO, ECでは当然の設計(実績あり)

[安全性能照査(終局限界状態)]

終局強度照査, 不安定や座屈崩壊などが生じない

ΣS*(係数倍した荷重による作用) ≦ Sult.(終局強度)

Ex. AASHTO LRFD(強度限界Ⅰの照査法)

$M_{1.25DC + 1.50DW + 1.75[LL + II]} \leqq M_{Mult.}$

$M_{Mult.}$: (例えば)塑性曲げ強度

↑道示では扱えない

[使用性能照査(使用限界状態)]

降伏や弾性座屈など塑性変形が生じない

↑ECの不可逆性を認めない(弾性性能を要求)

↑新道示の【限界-1】に対応.

ただし,道示は安全性能照査では?

Σf*(係数倍した荷重による応力) ≦ f_y (or) f_E

f(σ, τ) : 応力, f_y : 降伏応力, f_E : 弾性座屈応力

Ex. AASHTO LRFD (使用限界Ⅱの照査法)

$\sigma_{1.00D + 1.30[LL + II]} \leqq 0.95\sigma_y$

終局状態が降伏強度以下, スレンダー断面(鋼部材)では,
使用性能(弾性性能)照査は不要となる.

[AASHTO LRFD]

AASHTOは限界状態設計法(LSD)採用し,
要求性能レベル, 限界を超えたか否かの照査にLRFD採用
(照査にあたり確率論[安全指標β])

また, LSDと荷重抵係数設計法(LRFD)は同義語扱いされている.

照査する限界状態

・強度限界状態Ⅰ～Ⅴ

たとえば, Ⅰ:無風時,車両の通常使用時の強度
Ⅱ:無風時, 特殊車両や管理者が許可した車両

・極限事象限界状態Ⅰ, Ⅱ

Ⅰ:地震を含む荷重
Ⅱ:氷,船,車両の衝突

・使用限界状態Ⅰ～Ⅳ

たとえば, Ⅱ:鋼材の降伏や接合部(ボルト)のずれ

・疲労限界状態 Ⅰ(無限期間), Ⅱ(有限期間)

合計13ケースの照査(強度I, 使用Ⅱが断面決定支配的)

照査フォーマット(LRFD)

$$\Sigma \eta_i \gamma_i Q_i \leqq \Phi R_n = R_r$$

γ_i : 荷重係数(確率論に基づく[安全性能照査])

Φ : 抵抗係数(確率論に基づく[安全性能照査])

η_i :荷重の補正係数 ($= \eta_D \eta_R \eta_I$)

[η_D:延性, η_R:冗長性, η_I:重要性]

Q : 荷重効果

R_n : 公称抵抗値

R_r : 係数倍された抵抗値

スパンに関係なく, 同じ安全指標βを有する!!

強度限界Ⅰ

$$S_{1.25DC + 1.50DW + 1.75[LL + IM]} \leqq S_{ult.}$$

S : 断面力(塑性強度を扱う)
$S_{ult.}$: 終局強度(= ΦR_n {R_n : 公称強度})
DC : DW以外の死荷重
DW : 表層(wearing surface : 摩耗層) ← コンクリート舗装
LL + IM : 衝撃[IM]込の活荷重

使用限界Ⅱ

$$f_{1.00D + 1.30[LL + IM]} \leqq 0.95 f_y$$

↑過積載対応

f : 応力
f_y : 降伏応力

[2段階(強度, 使用)の設計]

ECは, [付録-A]を参照ください

旧道示

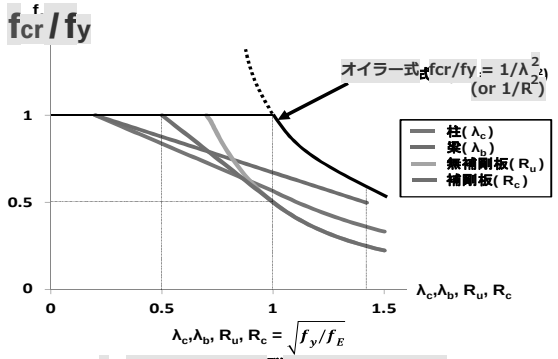
・<u>安全性能照査法</u>

$\Sigma f \leqq h \cdot f_a = h \cdot {}_{min}\{f_y, f_{cr}(\leqq f_y)\} / 1.7$

h：割増係数(許容応力度(f_a)に対する)
[☝荷重組み合わせに確率を暗に考慮]
f_y：降伏応力
f_{cr}：座屈強度($\leqq f_y$) [☜降伏限界ではない]

1.7：基本安全率
(↑未知係数, 無知係数と言われる)

道示の強度式：$f_{cr}/f_y(\leq 1.0)$



f_y：降伏応力, f_E：弾性座屈応力

道示改訂(2017)と性能照査法

[限界状態]

限界状態1：橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない限界(弾性性能) ← <u>ECの使用限界(reversible limit)</u>

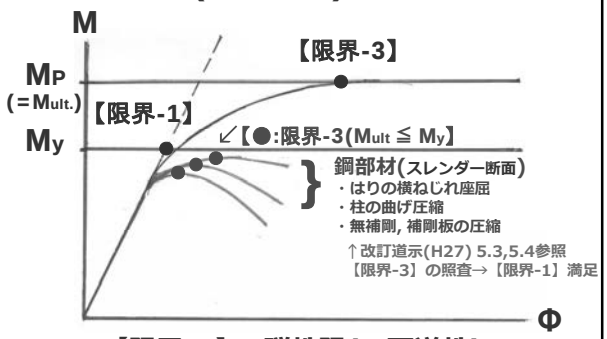
限界状態2：上記能力に低下が生じているが, 荷重支持能力が想定範囲内にある(想定を超えない)限界

限界状態3：これを超えると構造安定性が失われる限界

[照査方法(LRFD)]

$\Sigma S_i(\gamma_{qi} \cdot \gamma_{pi} \cdot P_i) \leqq \varphi_R \cdot R \times \xi_1\xi_2$

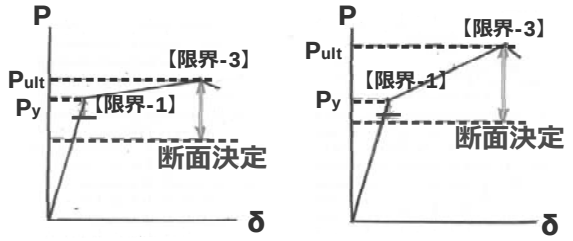
合成桁(正曲げ部)のM-Φ関係



【限界-1】：弾性限(←可逆性)

【限界-3, 限界-3】：終局強度

断面決定



AASHTO LRFD

強度限界：M 1.3D + 1.75[L + I] ≦ Mult. ←【限界-3】に対応

使用限界：σ 1.0D + 1.30[L + I] ≦ 0.95σy ←【限界-1】に対応

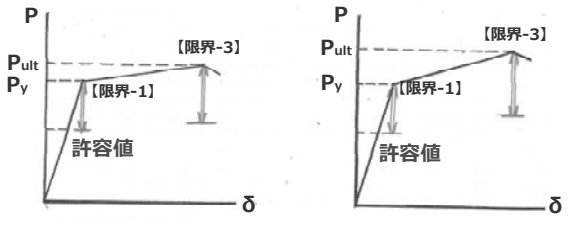
EC

終局限界：M 1.35D + 1.35[L + I] ≦ Mult. ←【限界-3】に対応

使用限界：σ 1.00D + 1.00[L + I] ≦ σy ←【限界-1】に対応

限界-1,-3の扱い

限界-1(弾性限[可逆性を要求])
限界-3(終局強度[安定性])



【限界-3】値 ≧【限界-1】値でも,
同じ安全率を設定すると, これまで通りで,【限界-3】値は無意味

AASHTO LRFD(ECも同様)は,
【限界-1】が使用限界状態(可逆性が要求性能、レベルは降伏強度)
【限界-3】が終局限界状態

設計法

・性能照査設計法(PBD)
・(性能照査型)限界状態設計法(LSD)
↑[要求性能事項]と
対応する[性能レベル]を定義

橋は目的があって建造, 使用する.
その目的達成に必要な要求性能事項を定義
ex.
安全性能
使用性能
・・・・

あわせて, 要求性能レベルの設定を行う.
⇕
性能照査方法の提示

要求性能レベルが満足できているか(限界状態設計法では, 要求性能限界を超えたか否か)の照査

【性能の照査法】
・荷重抵抗係数法(LRFD)
・部分係数法(PFD)
・許容応力度設計法(ASD)

【ASD】

$$\Sigma Q_i \leq R_E / FS$$

Q : 荷重作用, RE : 弾性抵抗, FS : 安全係数

【LFD】

$$\Sigma \gamma_i Q_i \leq \varphi R$$

γ : 荷重係数, φ : 低減係数, R : 抵抗(強度)
「例」1.3(1.0D + 1.67L) = 1.3D + 2.17L ≤ φR

【LRFD】

$$\Sigma \eta_i \gamma_i Q_i \leq \varphi R_n$$

φ : 抵抗係数, R_n : 公称強度

J. Kulicki and R. Sweeny : 2. Bridge Engineering in the United State, 2.2 Design practice, Handbook of International Bridge Engineering, CRC Press, 2014より

性能照査型設計法
(Performance-based Design Method)

構造物が目的を達成するために必要な,要求される性能を定義する.性能の照査法は設計者に任せられる.
→ 自由競争, 技術開発を促す[期待]

$(\beta \geqq \beta_{TARGET})$となるよう設計する!!
↑実務的には難しい

[β : 安全指標(後述)]

限界状態設計法
(Limit State Design Method)

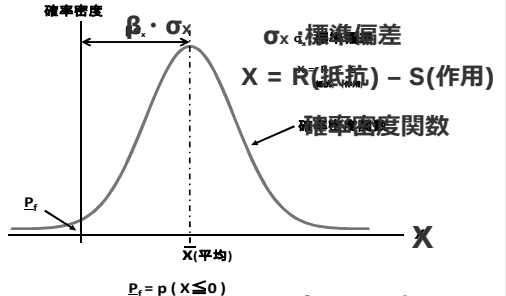
要求性能に対応づけた限界状態を設定し,
限界を超えたか否かを照査する.

→ **一般に照査方法(レベル1)**
が与えられる.

部分係数の設定にあたり, 信頼性理論をベースとする.

設計のレベル
(信頼性理論の適用レベル)

- **レベル-Ⅰ «橋の設計, 世界標準»**
  部分係数を用いる設計
  «S* ≦ R*» (S*,R*)は係数倍した作用と抵抗
- **レベル-Ⅱ**
  安全指標(β)を用いる設計
  «β ≧ $\beta_{ターゲット}$»
- **レベル-Ⅲ**
  破壊確率(P_f)を用いる設計(適用は難しい)
  «P_f ≦ $P_{fターゲット}$»



$P_f = p(X \leqq 0)$

AASHTO LRFD (β = 3.5, 寿命75年)
↑部分係数設定
[β = 3.5 (p_f = 2.33 x 10-4)]

星谷, 石井：構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986

LSDで経済設計とは言わない
(経済性の比較ではない)*!!

- **設計思想や安全(信頼性)レベルの議論**

部分(安全)係数を勝手に低下させると→鋼重減
ASDでも, 安全率を勝手に低下させると→鋼重減
{↑その根拠は??(納税者への説明が欠かせない!!)}

*当麻庄司他：鋼道路橋の設計例による日米比較,
土木学会北海道支部論文報告集, 2005

設計法で何が変わるか???
(よく受ける質問として)性能設計法で何が変わるのか??

変化は,

どのような性能を求め,
要求性能レベルをどう設定するか[*]

による(次第である).

[*]技術進歩を反映, 過去の実績を反映など

(これまで)要求性能事項を明確にしない[*]**ため,**
過去の実績に引きずられて,
変化がない(進化を避ける, 過去に合わせるだけ)
[*]先輩は, 暗に, すべてを考慮していると言うが, 進歩を妨げる!!

要求性能事項を規定し(明確にし),
かつ[要求]性能レベルを示せば,
評価の精度向上ほか信頼性向上に目指した
研究, 開発が活性化する.

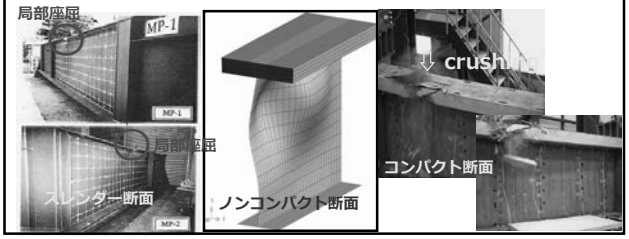
{そのための性能照査設計法,
「原点に返って見直して欲しい」と主張している!!}

ビデオ

合成桁床版クラッシング(終局状態)

終局強度式
[曲げ, せん断, 曲げ・せん断相関]

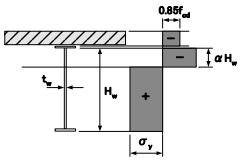
解析, 実験研究から誘導



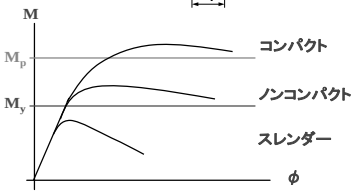
コンパクト断面

$$\frac{H_w}{t_w} \le \frac{2.00}{\alpha}\sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (\alpha < 0.4)$$

↑2.00 提案値



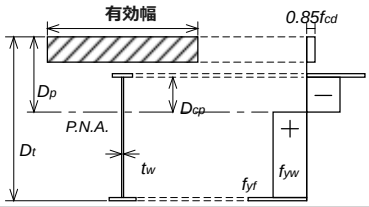
AASHTO LRFD : 1.88
EC (Class 2) : 1.42



土木分野：古い研究テーマだよ. 今更(←でも, 実装したのか???)
建築分野：当たり前の設計(スペースを有効利用のため, 構造体の断面を小型化)

曲げ強度(正曲げモーメント)

$M_{ult.} = \beta \cdot M_P$



f_{cd}：コンクリート強度
f_{yf}：降伏応力 (フランジ)
f_{yw}：降伏応力 (ウェブ)
t_w：ウェブ厚
E：縦弾性係数

Compact section $D_{cp}/t_w \le 2.00\sqrt{E/f_{yw}}$ ←判定式

Reduction factor

$\beta = 1.0$ $\quad D_p/D_t \le 0.15$

$\beta = 1.05 - 0.33(D_p/D_t)$ $\quad 0.15 < D_p/D_t < 0.42$

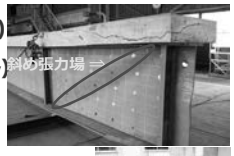
M_P：塑性中立軸(P.N.A.)まわりの全塑性モーメント
β：コンクリート版の先行圧壊の影響を考慮する低減係数

せん断強度(床版効果無視)

$$\frac{T_{ult}}{T_y} = \frac{T_{cr}}{T_y} + \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{1+\alpha^2}}\cdot\left(1 - \frac{T_{cr}}{T_y}\right)$$

$T_{cr} = T_E$ $(T_E \le 0.8T_y)$

$T_{cr} = \sqrt{0.8T_E T_y}$ $(T_E \ge 0.8T_y)$



α(≦3.0) :アスペクト比
T_E:せん断弾性座屈強度
T_y：降伏せん断強度
$Q_{ult} = \tau_{ult} \cdot A_w$(ウェブ断面積)

Basler式を採用(式が簡単で, 比較的精度が良い)
Cardiffモデルがより精度が高いが!!

曲げ(M)とせん断(Q)の相関強度照査

1) 鋼桁(4乗相関)

$(M^*/M_{ult.})^4 + (Q^*/Q_{ult.})^4 \le 1.0$

M*, Q*：(係数倍された)作用
$M_{ult.}$, $Q_{ult.}$：(係数倍された)強度[前出]

2) 合成桁
照査不要

降伏, 塑性モーメントの計算法は[付録-2]参照ください

日本初(実装!!)
金谷郷高架橋(東日本高速道路(株))

日本初のコンパクト断面設計による合成I桁橋梁

1. 安全性能照査にあたり

・正曲げ部[合成桁]断面 -コンパクト断面設計-

曲げ強度：$M_{ult.} = M_P$ ($\geqq M_y$)

↑ ($M_{ult.}$は連続合成桁では,
1.3M_y以下に制限)

照査の具体

$M_{1.3D + 2.0[L + I]} \leqq M_{ult.}(=1.3M_y)$

・負曲げ部[鋼桁+鉄筋]断面 - スレンダー断面設計

曲げ強度：$M_{ult.} \leqq M_y$

照査の具体(現行道示と同じ)

$M_{1.3D + 2.0[L + I]} \leqq M_y$

2)使用性能照査

2-1 弾性性能 (←改訂道示の【限界-1】に対応)

$\Sigma f_{D + [L + I]} \leqq f_y$(降伏)$/1.15$ [*]

$\Sigma f_{D + [L + I]} \leqq f_E$(弾性座屈)$/1.15$ [*]

終局状態では塑性域に入ることから,
使用状態(設計最大荷重状態)では、降伏させない

[*]AASHTOを参照しつつ決定, [今後, 要議論, 検討課題]

2-2 ひび割れ幅照査 ← NEXCO基準

2-3 たわみ制限 ← 道示

2-4 振動,騒音性能 ← 現地実験, 計測より照査

3)疲労性能照査

1次(公称)応力ベース(疲労等級, レインフロー)

4)耐風性能照査

合成桁(コンパクト断面設計と道示設計)

・正曲げ部で15～20％の鋼重減

・負曲げ部{[鋼桁 + 鉄筋]断面*}は
ほぼ変化無し

↓

橋全体で約10％の鋼重減

*床版がひび割れるため[鋼桁+鉄筋]断面となり、
最大強度はf_yで, 現行道示と大きな差異は生じない

設計資料

(社)日本鋼構造協会, 鋼橋の性能向上研究委員会・合理化設計法部会：合成桁の限界状態設計法試案, JSSCテクニカルレポート, No.70, 2006.10

(株)高速道路総合技術研究所：鋼連続合成桁の限界状態設計法を用いた設計計算例・同解説(案)-フォローアップ検討版-, 2009.02

土木学会鋼構造委員会, 合成桁の限界状態に関する調査検討小委員会：鋼・合成構造標準示方書に基づく新たな設計, 2009.09

その他資料：[付録-3]を参照ください

設計法, 今後

２段階設計の導入と塑性強度*の利用

*降伏強度より高く安定した強度上昇が期待できる場合
EC, AASHTO LRFDでは当たり前に設計

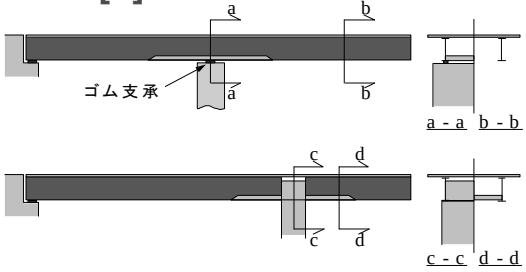
道示のLRFDは[限界-1(弾性応答)]**支配され,
塑性強度を検討する意味がない??

**弾性応答(reversible limit)の要求は,
EC, AASHTO LRFDは使用限界状態の照査で行い,
終局状態(構造不安定)と照査法が異なる
↑大きな違い!!

【Message】
要求性能事項や性能レベルの再検討を!!

何が変わる??

[1] 2重合成桁の設計



負曲げ領域で,
下フランジ側(圧縮作用)にコンクリート打設
→全断面, コンパクト断面となる
[付録-4]参照ください

[2]ハイブリッド桁

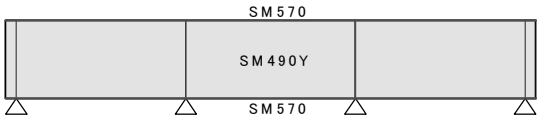
現行では使用できない!!

安全性能照査,
低強度側材料の降伏強度に支配される

[付録-5]参照ください

例：鋼桁(&合成桁中間支点部)

ASD →(シフト)→ LSD{2段階設計}で鋼重変化無し
その上で, ハイブリッド化は可能となる!!



性能照査法
【使用限界】 $\Sigma f \leqq f_y/\gamma_s$ ($\gamma_s \fallingdotseq 1.20$←[数値は要議論])
【終局限界】 $\Sigma M \leqq M_{ult}(\leqq M_y)/1.7$ ←断面決定
M_{ult}(ノン・ハイブリッド) ≒ M_{ult}(ハイブリッド)

[3]ボルト本数

ボルト1本の「滑り」が
終局状態(橋の安全性能喪失)か??

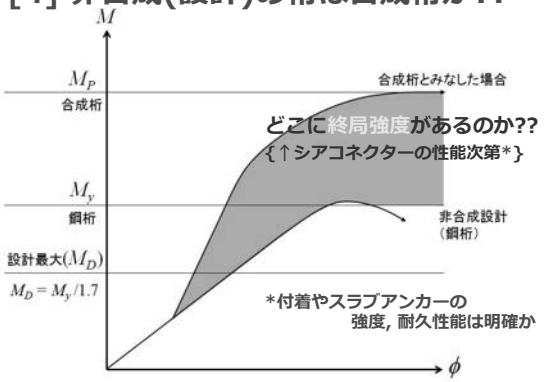
[付録-6]参照ください

[高カボルト摩擦接合(配置例)]

↑ S355 : t = 80mm
現行法(11～12列)

摩擦係数アップだけでなく,
終局に至るまでの性状を考える!!

[4] 非合成(設計)の桁は合成桁か??



鋼桁と合成桁(とした場合)のM-Φ

何が言いたいのか??

[不確実な付着]
+ [1mピッチのスラブアンカー]で,
スタッド配置でなくて(スタッドやめて),
合成桁設計をしたいのか???

我が国の設計の基本(安全性能照査)は,
$\Sigma\sigma \leqq \sigma_{ult.}/\gamma$ (γ = 1.5~1.7)
設計には, 現行非合成桁{付着, スラブアンカー}の
終局強度($\sigma_{ult.}$)が必要

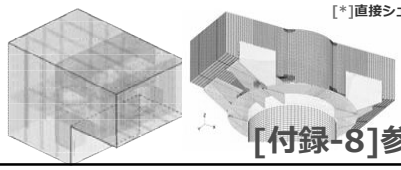
[付録-7]参照ください

[5]応力集中と安全性能照査

【疑問????】

部材長さの, ある位置の断面内の一点応力(f)が,
降伏(f_y)または座屈強度(f_{cr})に達した状態で,
橋システムは崩壊, 不安定【限界-3】か??

($f^{[*]} = f_1 + f_2$)と(強度f_{cr})と比較するのか??
f_1 : 1次応力(梁理論ベース)
f_2 : 2次応力(by 設計式 or シェル要素3D-FEA)
[*]直接シェル要素FEAでも計算できる



[付録-8]参照ください

[6]ケーブル安全率見直し(低減)

ケーブル安全率　　1.7～3.5(4.0)

Ex. 斜張橋
現行道示(ν_B = 2.5(破断)
[↑ν_y = 2.2(ケーブル降伏)])

安全性能照査と疲労性能照査が混在している??
両者込で,一つの部分(安全)係数2.5を設定

[付録-9]参照ください

[7]FEAで設計しよう???

{これまでもFEAを用いて設計しているのだが}

[付録-10]参照ください

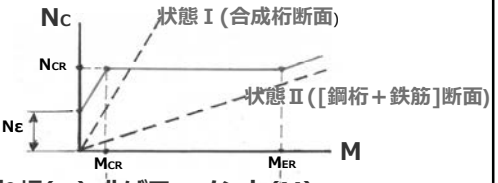
ご清聴ありがとうございました

付録

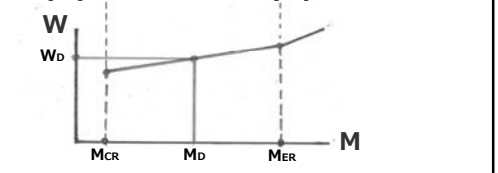
[付録-1]

ひび割れ幅制御設計の一提案

床版軸力(N_C)-曲げモーメント(M)



ひび割れ幅(w)-曲げモーメント(M)



N_{CR}：初期ひび割れ時軸力, N_ε：収縮・クリープによる軸力
M_{CR}：初期ひび割れ時モーメント, M_{ER}：安定ひび割れ移行時モーメント

(1) ひび割れ幅制御

(ひび割れ幅照査では「主桁作用と床版作用」重ね合わせない)

$w_D \leqq w_a(= 0.035C)$ C：かぶり

照査モーメント(M_D)

$M_D = M_{d2} + \alpha^* M_{[L+I]} + M_{cr} + M_{sh}$

M_{d2}：後死荷重

$M_{[L+I]}$：(衝撃込み)活荷重

M_{cr}：クリープ

M_{sh}：収縮

α^*：実体活荷重を表す係数(ex. $\alpha^* = 0.6$)

文献[A]：長井, 奥井, 岩崎：連続合成桁の初期ひび割れ状態を考慮したひび割れ幅, 鉄筋応力算定法の提案、土木学会論文集, No.759/I-67, pp.283-292, 2004を参照ください

↑ 一部変更した提案になっています

(2) 鉄筋応力の照査

(降伏させない「可逆性を要求」)

[1] 主桁作用(σ_G)

σ_{G1}(初期ひび割れ時 = N_{CR}/A_S) ≦ σ_Y/γ

σ_{G2}*(安定ひび割れ状態) ≦ σ_Y/γ

[*tension-stiffening効果を考慮]

σ_Y : 鉄筋の降伏強度

γ(今後、検討, 議論の課題) : 1.2程度

[2]床版作用(σ_B)

$\sigma_B \leqq 120N/mm^2$ (←床版作用のひび割れ幅照査は行わないため)

[3]重ね合わせ照査

$\max.\{\sigma_{G1}, \sigma_{G2}\} + \sigma_B + \sigma_T \leqq \sigma_Y$

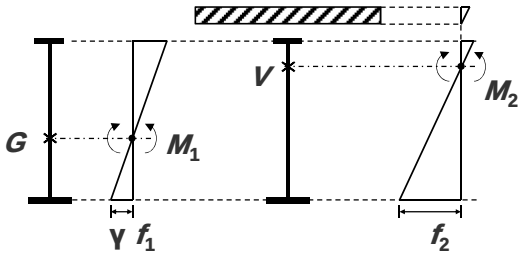
σ_T : 温度変化による応力

詳細計算は文献[A]参照

[付録-2]

降伏モーメントと 塑性モーメントの計算法

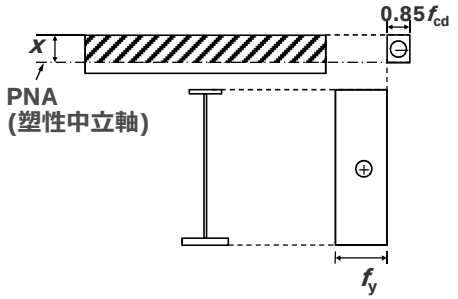
降伏モーメント(M_y)の求め方



$f_2 = f_y$(降伏応力) $- \gamma f_1$ {γ : 部分係数}

$M_y = M_1 + M_2$

塑性モーメント(M_P)の求め方



1) xを仮定し, 軸力のつり合いからx(塑性中立軸位置)を求める. xがマイナスの場合, 上フランジ内⇒ウェブ内と, xの位置仮定

2) 塑性中立軸周りのモーメントを計算(←塑性モーメントMP)

3) $M_{ult} = \beta \cdot M_P$(←コンクリートの先行破壊による低減)

[付録-3]

LSD設計資料

AASHTO, ECによる設計計算例

[1] AASHTOによる鋼, 合成桁橋の設計計算例

http://www.aisc.org/contentNSBA.aspx?id=20244

(down load)

[2] 教科書

Gongkang Fu : Bridge Design and Evaluation –LRFD and LRFR-, John Willey & Sons, Inc., 2013 (ISBN 978-0-470-42225-0)

[3] ECによる合成桁橋の設計計算例

・J.P.Lebet, M.A.Hirt : Steel Bridges, 2009 (ISBN 978-1-4665-7296-6 [CRC Press], orders@crcpress.com)

・SETRA : Guidance book, Eurocodes 3 and 4, - Application to steel-concrete composite bridges, 2007

限界状態設計試案(参考図書)

[1](社)日本鋼構造協会 : 合成桁の限界状態設計法試案, JSSCテクニカルレポート, NO.70, 2006

[2](社)日本鋼構造協会 : ハイブリッド桁の限界状態設計法試案, JSSCテクニカルレポート, NO.83, 2009

【余計な話】(旧)道示は既にLSD??

・刑部, 杉山：部分係数法の基礎(用語), 橋梁と基礎(2017.1)より

(故)西野先生の論文*を引用(・・許容応力度設計法と限界状態設計法は, 本質的に同一と考えてよい, ・・好みの問題である・・)した後,
「書式が変わるのみで, あまり心配することではない」と記述されている.

*西野他:限界状態設計法に対する一解釈, 橋梁と基礎(1989.3)

・中井, 北田：橋梁工学[上], 森北出版, 1999(初版) より

従来の許容応力度設計法でも, 考えうるすべての限界状態を対象の十分な信頼性のある設計が行われてきた. しかし, 限界状態設計法は, それら(限界状態)をより明確にし, しかも体系的に照査しようとする点に新しさがある.

[付録-4]

2重合成桁の曲げ,せん断強度評価

2重合成桁

曲げ強度

下フランジ側
コンクリート圧潰

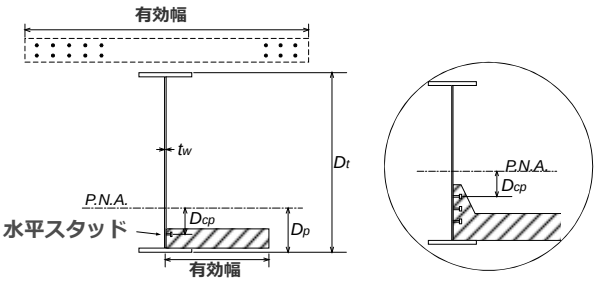
せん断強度

斜め張力

2重合成桁の例(中間支点部下床版)

ドイツ

曲げ強度(2重合成桁, 中間支点位置)

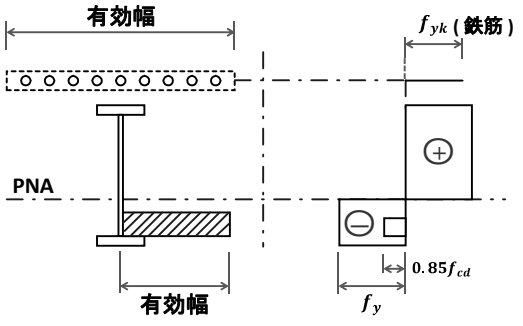


D_{cp}/t_w は以下を満足するよう決定

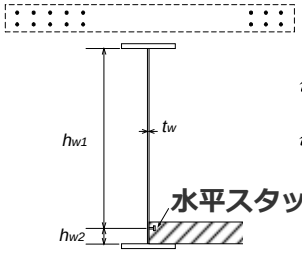
$D_{cp}/t_w \le 2.00\sqrt{E/f_{yw}}$ ⇒ コンパクト断面と判定

$M_{ult.} = \beta(D_p/D_t)\cdot M_p$

PNA(塑性中立軸)は, 軸の位置を仮定して, 軸力のつり合いから決定



せん断強度



$$\tau_{ult.} = \tau_{ult.}(h_{w1}) + \tau_y h_{w2} t_w$$

$$\tau_{ult.}(h_{w1}) = \tau_{cr}(h_{w1}) + \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{\tau_y - \tau_{cr}(h_{w1})}{\sqrt{1+\alpha^2}}$$

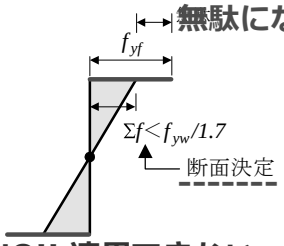
水平スタッド　　Basler式

τ_y：降伏せん断応力，　α：アスペクト比

[付録-5]

ハイブリッド桁

現行ASDで(効率的に)適用できるの??



NO!! 適用できない

1)実現できるのか??
2)メリットは何か??

ハイブリッド桁(ASDでは使えない)

[フランジ強度≧ウェブ強度]の桁断面

≪ASD(旧道示)≫

安全性能照査

f ≦　$f_{y,w}$ / 1.7 ← ウェブ(降伏)強度に支配される

≪LSD≫2段階の性能照査

使用限界状態

f ≦ $f_{y,w}$ / γ_s (γ_s ≒ 1.20 ← [数値は要議論])

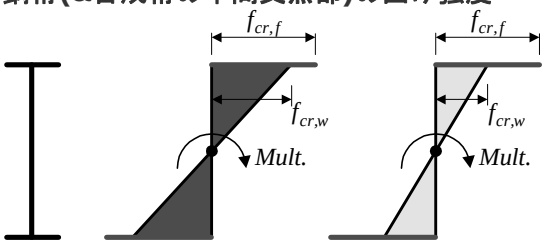
終局限界状態

M ≦ M_{ult}* / 1.7　{← 同じ断面構成可能}

*ハイブリッド, ノン・ハイブリッド桁でM_{ult}の差異小さい

(↑ウェブの寄与小さいため)

鋼桁(&合成桁の中間支点部)の曲げ強度

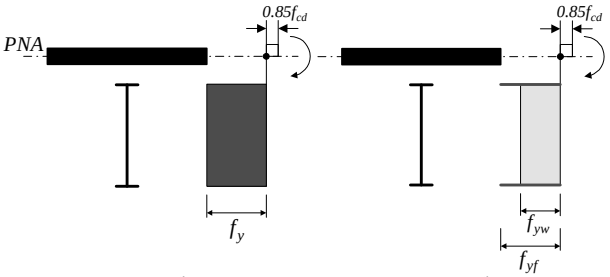


Mult　≒　Mult

(ノン・ハイブリッド)　(ハイブリッド)

【ウェブの寄与が小さいため】

合成桁の(正)曲げ強度

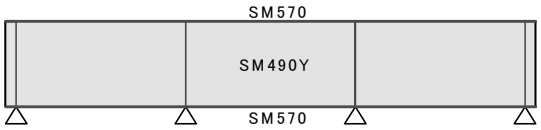


ノン・ハイブリッド桁　　ハイブリッド桁

Mult (ハイブリッド断面)は5~10％小さい

鋼桁(&合成桁中間支点部)

ASD →(シフト)→ LSD{2段階設計}で鋼重変化無し
その上で, ハイブリッド化は可能となる!!



性能照査法

【使用限界】 $\Sigma f \leqq f_y/\gamma_s$ ($\gamma_s \fallingdotseq 1.2$程度←要議論)

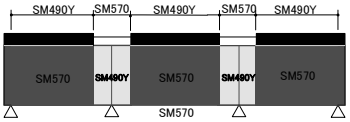
【終局限界】 $\Sigma M \leqq M_{ult}(\leqq M_y)/1.7$ ←断面決定される

M_{ult}(ノン・ハイブリッド) ≒ M_{ult}(ハイブリッド)

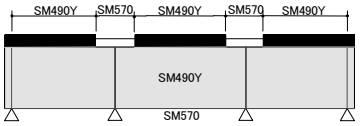
合成桁

ASD →(シフト)→ LSD{2段階設計}が前提!!

(1)鋼重約10％減



(2)鋼重約5％減 + ハイブリッド化



[付録-6]

高カボルト設計

[高カボルト摩擦接合(ボルト本数低減)]

S355 : t = 80mm
現行法(11～12列)

«ASD(道示)»

安全性能照査

ρ(ボルト作用力) ≦ ρ[slip]/1.7

↑よって, すべり抵抗アップの研究がメイン

«LSD»2段階の性能照査

使用限界状態(←使用性能照査)

$\rho \leqq \rho[slip]/\gamma_s$ (γ_s = 1.2程度[要議論だが])

終局(強度)限界状態(←安全性能照査)

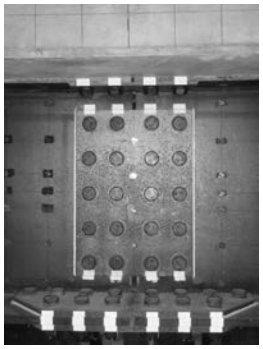
$\rho \leqq \rho[ult.]/1.7$

$\rho_{ult.}$が$\rho_{[slip]}$より十分大きく,
安定的荷重上昇が前提!!

↓(性能照査型移行)

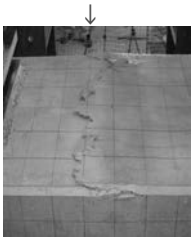
ボルト本数低減の可能性あり

終局時ボルト変形



床版の圧壊(終局時)

床版の圧壊
↓



・すべり時の除荷が大きい
[その後, 荷重上昇するが]

ボルトは維持管理上の弱点

[付録-7]

非合成設計した桁は合成桁か???

・<u>どうしても床版取り換える ⇒ 非合成設計だ!!</u>
↑性能設計を導入, レベルなどの説明!!

2段階設計, 性能照査型設計の導入で対応を

・安全性能(終局状態では鋼桁単独の強度で照査)
・<u>使用性能</u>(合成桁 and 鋼桁として, 両者で照査)
{↑最大活荷重作用下で弾性性能(可逆性)保証}
・疲労性能(合成桁 or 鋼桁として照査)
・耐震性能(レベル1,2時の<u>耐荷構造システム</u>*は??)
{*<u>シアコネクターの強度に依存する</u>}
・耐久性能
・・・・・

一方で, 既設橋梁では,

耐震評価にあたり
・レベル-1作用：合成桁??
・レベル-2作用：非合成桁(床版は外れる)??

劣化構造の性能(余耐力)評価にあたり
・非合成挙動か合成挙動か??

わかりにくい, 扱いにくい!!
後世に残すとき, 「説明」を

[付録-8]

応力集中と安全性能照査

[対応方法](ex. [2段階照査]の設計)

<u>安全性能照査(断面力{S}計算)</u>

S(梁理論ベース断面力) ≦ $S_{ult.}$ (終局強度) / γ_u

{↑ノンコンパクト断面($f_{ult.} \leqq f_y$)では, 応力照査でよい}

<u>使用性能照査(2次応力, 応力集中込の応力{f}計算)</u>

$f \leqq f_y$(降伏強度) / γ_s

f(梁理論ベース応力) ≦ f_E(弾性座屈応力) / γ_s

γ_u = 1.7(現状では)

γ_s = 要議論(1.20程度、過積載などを反映)

今後の設計計算法(提案)については,

(一社)日本鋼構造協会：鋼橋の性能評価と強度設計の合理化,
第3編 鋼橋の性能照査設計法と照査に用いる高度計算法,
3.性能の照査法と高度計算法, pp.3-22～3-25,
JSSCテクニカルレポートNO.105 (2015)

を参照ください.　私(長井)の思いです.

[付録-9]

ケーブル安全率見直し(低減)
-斜張橋-

[対応方法]性能照査限界状態設計

AA：安全性能(強度, 終局限界)

σ(引張応力) ≦ σ_B/ν_B (ν_B：破断に対する安全係数)

現行安全率(ν_B = 2.5) ⇒ [ν_B =2.2(ν_y = 1.7)程度へ]

・ケーブルの塑性化(吊能力の喪失)は, 桁の座屈を招く
{↑ケーブルは降伏強度(σ_y)を最大強度と考えるべき}
{↑鋼桁の最大強度は降伏強度(降伏にν=1.7を考慮しているため)}

[安全率設定にあたり, 橋システム強度とのバランス考える必要あり]
(by 非線形3D-FEA検証が推奨される)

BB：使用性能(使用限界)

σ(引張応力) + σ_2(2次曲げ応力)
≦ σ_y/ν_S (ν_S = 1.20程度←要議論)
↑σ_y：降伏強度

CC：疲労性能(疲労限界)

[S-N曲線], [レインフロー法]で照査

[付録-10]

FEAで設計しよう??

シエル,ソリッド要素の計算をFEA(有限要素解析)
と勘違いしているのでは??

(基本的疑問)これまでも,
FEAで設計してきた!!

S*(作用) ≦ R*(抵抗)

↑梁要素のFEA(影響線, 面解析)
& 応力の乱れが想定される場合(シエル, ソリッド要素FEA併用)

*印は, (部分)係数倍された設計作用や設計抵抗値

FEA(Finite Element Analysis)

昔(40年以上前)から，シェル，ソリッド要素FEAは，
複雑な構造の立体的な動き(梁理論でつかめない)を把握し，
設計へ反映してきた!!

今も，複雑な構造の動きをほぼ正しく同定!!
- ・複雑な構造のキャンバー計算
- ・疲労照査(T荷重載荷)時の応力(床版分配効果考慮)
- ・斜角(直線，曲線)桁の正確な反力[*]
- ・部分的に損傷を受けた構造，部材の応力状態や強度

etc.

[*]石原他：北陸新幹線第5千曲川橋りょう(連続合成桁)の 設計と施工
橋梁と基礎，2012.05{←格子モデルとの差異(反力)の検討}

鋼I桁橋の設計例

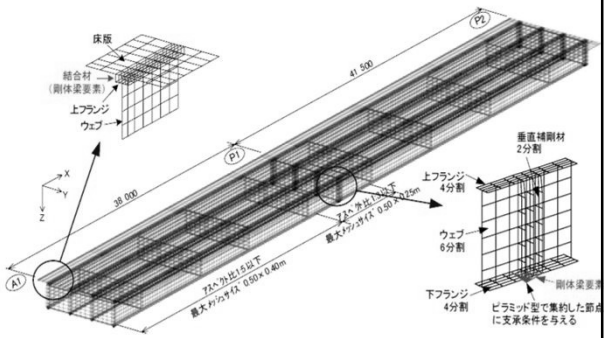
(格子桁設計 vs シェル要素FEA設計)
↑床版の分配効果が考慮できていない[*]

- 鋼重の比較例 -

[*]実体を反映していないのでは、という疑問

シェル要素を用いた影響線計算と設計

4径間連続I桁橋,総幅員10.38~10.9m(FEA計算は橋半分を対象，モデル化)



吉岡 勉，村越 潤，高橋 実：FEM 解析を用いた鋼多主桁橋の設計合理化
に関する一検討，土木学会第59回年次学術講演会（2004年9月）

比較結果

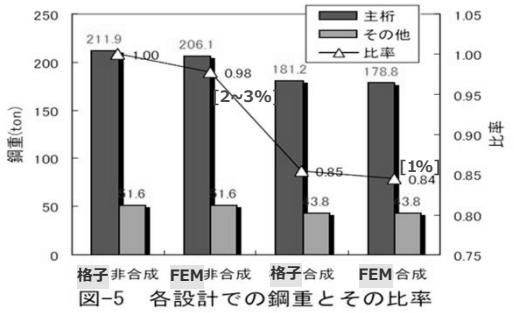


図-5　各設計での鋼重とその比率

《格子解析 vs シェル要素FEA，差異は極めて小さい》

【注記】：3径間連続2主合理化I桁橋(スパン50m，総幅員10.7m)の検討では，
鋼重量の差異は主桁間隔5.5~7.1mで2~3%
{↑土木研究所資料，鋼桁橋の設計へのFEM解析の適用に関する研究(2007.04)より}

最近の知見【骨組(梁)モデルの設計でOKか??】

{↑骨組，格子モデルFEAとシェル要素FEAの比較}

AA：鋼桁中間支点位置で曲げモーメントを低減できるか(コンクリート橋は10%低減)??
→文献[1]より,支点上補剛材がある場合(←欠かせない)，シェル要素FEAと骨組解析の曲げ応力(上フランジ)は，ほぼ等しい.

BB：合成桁中間支点部(負曲げ部，床版ひび割領域)の剛性評価は，現行の橋建設資料[*]でOKか??
→文献[2]より，(骨組モデル使用，現行の)妥当性を確認

[*]（社）日本橋梁建設協会：連続合成2主桁橋の設計例と解説(2005.08)
[文献1]櫻井他：鋼橋における連続桁中間支点部の設計曲げモーメントに関する検討，
土木学会第70回年次学術講演会(2015.09)
[文献2]由井他：連続合成桁の中間支点部(負曲げ区間)の剛性評価に関する検討，
土木学会第70回年次学術講演会(2015.09)

そもそも，シェル要素FEAによる設計では

AA：節点の自由度，変位や応力(垂直[σ_x,σ_y]，せん断[τ_{xy}])
の影響面を求めるのか??
↑膨大な自由度

BB：照査は以下でOKか??
Σf (鋼板内のある1点応力[f] by シェル要素FEA)
≦ min{f_y, f_{cr}(≦f_y)}/1.7
f_{cr}：座屈強度(応力)
↑応力，出れば出るほど板厚アップ(これで良いのか!!)

CC：メッシュ分割はどうするのか??

今後の設計計算法(提案)については,

(一社)日本鋼構造協会 : 鋼橋の性能評価と強度設計の合理化,
第3編 鋼橋の性能照査設計法と照査に用いる高度計算法,
3. 性能の照査法と高度計算法, pp.3-22～3-25,
JSSCテクニカルレポートNO.105 (2015)

を参照ください.　私(長井)の思いです.

(これから*は)橋全体システムに着目した
大規模非線形FEAの適用を!!

・橋全体システムの(実)強度の同定
→ {将来的に}設計への反映

・橋システム内の部材強度低下同定(劣化による),
最弱点部材の同定また橋システムの強度低下同定
↑{維持管理用}

・想定外荷重(ex. 地震)に対して,
橋システムの「ねばり{ピーク以降の挙動}度」同定
↑{安心, 安全性の向上}

*維持荷重(劣化)時代や想定外荷重(自然災害) -備え!!-

エンジニアとして

大事(大切)な力量として

「当たり」「見通し」をつける力
「(そこそこ)合ってる, いける」
判断力

を磨く, 備える!!

FEA一辺倒への危惧
{木をみて森を見ない エンジニア}

[付録-A]

EC

基本的な荷重

$$\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$: {死荷重などの}永久作用(特性値)
P : プレストレス(←永久作用)
$Q_{k,i}$: {交通荷重などの}変動作用(特性値)

最大の変動荷重作用は, $Q_{k,i}$のiを (i = 1)とおく.
その他の変動作用はΨ*用いて低減させる.

組み合わせ**	$\Psi_0 Q_k$
Frequent***	$\Psi_1 Q_k$
Quasi-permanent****	$\Psi_2 Q_k$

*低減係数
**同時発生の確率を考慮
***わずかな期間のみ超過
****かなりな期間超過

ULS(終局限界状態)

人や構造物の安全性を照査, 保証

EQU：静的つり合いを失う
STR：強度, 抵抗不足(崩壊)や過度の変形
GEO：地盤変状(過度の変形)
FAT：疲労破壊

[荷重]

$$\Sigma\gamma_{G,j}G_{k,j} + \gamma_P P + \underline{\gamma_{Q,1}Q_{k,1}} + \underline{\Sigma\gamma_{Q,i}\Psi_{0,i}Q_{K,i}}$$

↑支配的な変動作用　↑付随的変動作用

γ：部分係数

SLS(使用限界状態)

・通常{供用}状態での機能発揮(←弾性応答)
・快適性(たわみ, 振動)
・外観(キャンバーの垂れ, ひび割れ幅)
を照査, 保証

SLS照査：3ケースの作用の組み合わせ

1)Characteristic (←通常, irreversible limit stateに適用)
・非弾性応答が生じない
2)Frequent (←通常, reversible limit stateに適用)
・たわみ(動的効果を含む)の照査
・PC部材のひび割れ, デコンプレッションの照査
3)Quasi-permanent
・長期挙動に関連し, ひび割れ幅の照査

[荷重]

1)Characteristic SLS combination
{irreversible limit stateに適用}

$$\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

2)Frequent SLS combination
{reversible limit stateに適用}

$$\Sigma G_{k,j} + P + \Psi_{1,1}Q_{k,1} + \Sigma\Psi_{2,i}Q_{k,i}$$

3)Quasi-permanent SLS combination

$$\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma\Psi_{2,i}Q_{k,i}$$

土木学会第6回鋼構造技術継承講演会
2018年12月17日

コンサルタントの海外展開における課題

大橋　治一
Harukazu Ohashi

1

Career History

1975 - 2000　Honshu-Shikoku Bridge Authority
2000 - 2006　Parsons (Former Steinman - New York)
2006 - 2011　Nippon Engineering Consultants
2011 - 2014　Samsung C&T (Seoul)
2015 – present　Oriental Consultants Global
Team Leader, New Kelani Bridge (Sri Lanka)

Worked at:　Employer, Consultants, Contractor

Funded by:　JICA, ADB, Non-ODA countries

Projects at:　Japan
USA (8yr), Vietnam (1yr), Korea (3yr), Sri Lanka (4yr)

Specialized in: Long-span Bridge & Fatigue and Fracture

2

〔海外では〕

コンサルタント技術者からみた我が国の国際競争力

International Competitiveness in Japanese Construction viewed from a Consulting Engineer

Ohashi Harukazu
大橋治一*

まえがき

筆者は2000年7月より米国コンサルタントのニューヨーク事務所に勤め，長大橋の建設およびリハビリテーションの設計業務にかかわっている．エンジニアおよびCADドラフターを含めて約200人規模のオフィスには出身国籍で30カ国を超える．この国際的な環境のなかで生活をすると，否応にも色々な面で我が国との様々な制度・慣習上の相違に直面する．具体的にはコンサルタントの役割と責任範囲にあり，また技術に対する価値観である．そして，これらが本特集のテーマとする，技術者の国際競争力に密接にかかわる重要な要素と考える．

本文では，コンサルタントの立場からみた，技術者の国際競争力，国際的な環境の中で我が国の技術者に求められる資質とは何かについて述べる．

1．国際的な競争力

国際競争力とは，端的に言えば国際間のビジネスにおいてどの程度の勝算を得ているかであり，受注量でみるのがわかりやすい．国際競争力を発揮するには，技術力は元より，マネジメント，ファイナンスや政治を含めた総合力が問題となる．我が国の建設業の執行総額や個々の技術力においては総じて世界のトップレベルにあると考えてよいが，国際競争力やエンジニアの国際的な場での貢献度はまだまだ低い．例えば，ENR（エンジニアリングニューズレコード）誌のウェブサイトに示された国際建設業の2001年歳入ベースのランキングによると，建設における我が国の建設業は15位を筆頭に50位内に9社を数えるが，全体に占める国際関係のシェアは1割程度と少なく，依然として内需依存の強い産業である．さらに，コンサルタント業では50位内に4社が下位にランクづけされている．

このようなことから，ODA等の二国間で実施される特例を除外すると，国際的な業務にかかわるエンジニアは質・量的に少ない．他の産業と異なり建設業が内需産業として発展してきたため国際的な競争の必要性が少なかったという面を割り引いても，そこには本質的な問題があると筆者は考える．

1） 事業の執行形態と国際化との関連

表-1は，主要橋梁の建設分野における日米の発注者，受注者，コンサルタントの役割と責任範囲の相違について整理したものである．我が国の建設業の執行形態は，発注者と受注者（施工業者）との二者構造が基本となっており，コンサルタントは発注者の補助的役割を担っている．そして，発注者，施工業者，コンサルタントが相当数のエンジニアを抱え，米国のコンサルタントが実施する内容を分担している．同表に示す作業はコンサルタントは1社がすべてを実施するとは限らないが，詳細設計を実施したコンサルタントが技術上の主体的な役割と責任を負っている．

表-1　橋梁の建設における日米のコンサルタントの役割と範囲の違い

	日　本	米　国（主要工事）
技術基準	発注者（一部，コンサルタント）	発注者，コンサルタント
発注用設計	コンサルタント	詳細設計に代わるもの
詳細設計	受注者(中小規模ではコンサルタント)	コンサルタント
設計照査	受注者	受注者または別のコンサルタント
技術仕様書	発注者	コンサルタント
工費積算	発注者	コンサルタント (Engineer's Estimate)
工期計画	発注者	コンサルタント
発注前の基本施工法	発注者	コンサルタント
製作図審査	受注者	コンサルタント
複雑な架設解析	受注者	コンサルタント
実験等	受注者等	大学などの研究機関
施工マネジメント	発注者（コンサルタントは補助）	コンサルタント

一方，国際的な業務の際には，いわゆるグローバルスタンダードが一般に適用されるから，自国の制度のそれとの乖離が多いほど，適応のためのエネルギーが多く必要となる．このような構造的な違いが国際間の競争力にも影響を及ぼすことは明らかである．例えば，我が国のコンサルタントが国際的な業務を実施する際には，国内では通常，関与することのない，詳細設計の実施，技術仕様書の策定，工費・工程の見積もり，さらに判断責任を伴う施工マネジメント，詳細点検ならびにリハビリテーションの詳細設計，維持管理の投資計画策定などの実施能力が求められる．この種の経験が少ない場合には，国際的に競争力を発揮することが難しいことは容易に推測できる．

一方，我が国の施工業者の実施範囲が施工に限定された場合には設計技術力を生かすことができない．施工業者が，本体設計にかかわるエンジニアを保有，本体設計に関連する研究開発を実施することは我が国特有であり，これらが我が国の施工業者のコスト競争力に大いに関係していると

*Parsons社 工博

考える．製作施工に特化した身軽な欧米の施工業者とはコスト構造が根本的に異なっている．たとえ，Design/Build あるいは Design/Build/Operate のような，受注者が設計から施工あるいは管理までを一括実施する場合にも，我が国の受注者が自らのエンジニアリングを活用できるかが鍵となるが，受注者が設計を実施した事例を知らない．

すなわち，国内業務を実施するために養成された組織・人員が，国際の場で有効に使うことができないことに問題がある．さもなければ，この違いを生かして果たして国際的に有利な条件を創出できるかどうかにかかわってくる．後者の特異性を競争力につなげるためには，受注者の実施する設計・施工を保証する仕組が構築されなければならない．国際的な競争力の強化のためには，①ルールや構造をグローバルなものに変革するか，あるいは，②その違いをもって有利的に競争できる仕組を構築するか，③国内とは異なる国際向けルールを作り，国内と適宜使い分けることなどが考えられる．しかし，第三番目の方法は国際競争のための抜本的な対策とはなりえない．前者の２つの案は，行政サイドからパイロットプロジェクトとして試行的に施行しながら，我が国に適応した方法に改良しながら定着させていくことが考えられる．

2） 技術基準の国際化の必要性

技術の国際競争力を生むために最も重要なことの一つは，技術基準が国際標準として認められているかである．例えば，世界有数の長大橋を有する我が国の技術基準であっても国際的な業務で適用されることは少ない．これは，我が国の技術基準が国際的に利用可能なように翻訳されていないこと，BS や AASHTO 等のような設計体系となっていないこと等がその理由として考えられる．一方，国際的な業務を実施する場合，自国の技術基準を適用できることによる実益は大きい．技術基準はその国の経験と技術水準に基づいて制定されたものである．他の技術基準を適用して業務を実施すれば，いかに技術基準によって保証（保護）されているかを認識できる．例えば，施工業者の有する技術が契約書に定める技術基準に照らして異なる場合，施工業者は技術的な説明を求められるが，国内の基準の提示によって認可されず，内容確認や裏付け根拠のために実験等の実施が要求されることが多いのである．仮に，契約条項に規格基準の相互認証の可能性が記されている場合であっても，我が国の技術基準が国際的に受け入れられるための最低の条件すら満足していない．

技術基準の国際化として ISO 基準が制定され，大枠はこれに移行すると考えられるが，実務に関連する細部規定においては各国独自の技術基準が適用されることになると考えられる．建設業関連の技術基準は，日本工業規格(JIS)のように，国際的な場で適用されることを意図して制定されていない．これらは，建設業においては国際戦略上から重要であることが認識されることなく，国内向けとしてのみ取り組まれてきたことによる．我が国のエンジニアが国際的な業務を実施する際に，自国のもつ技術基準から恩恵を受けることができないのは残念なことである．鋼橋分野でいうなら，製作法や施工法に関する我が国の技術基準が国際的基準として認知されることは我が国の国際競争力の向上に効果があると考える．我が国に蓄積された高度な技術力が，他基準の適用のために利用できないことがあるならば大きな経済的な損失である．技術基準類が国際的にも使用（適用・引用）できるようにこれらを最低，英訳するなどの準備が必要である．さらに，施工基準や製作基準などにみられる慣習的に我が国で実施されていることであったり明確さを欠いている規定，例えば鋼橋の製作関係でいえば，製作図（Shop Drawing）の位置づけと盛り込むべき製作情報の内容，精度管理の基本となるベースラインの指定，加熱によるひずみ取り，仮付け溶接の再溶融などについては，国際的に最も利用されている AASHTO（AWS D1.5-Bridge Welding Code）や BS の製作基準との考え方のすり合わせを行い，規定の妥当性の根拠を対外的に自信をもって示すことができるような準備が必要であると考える．ここで誤解を招かないように付け加えるが，他国の基準に迎合するという主旨ではなく，橋梁技術の頂点に立つ我が国の技術基準が国際的に評価され，しかも Defact な基準として利用されるように，必要であれば規定の見直しを行い，国内のみならず国際的にも適用可能な基準として整備することを提案しているのである．

3） 技術情報の収集から発信への転換

我が国の建設技術に対する国際的な認知度が，その国力や技術力に相応しいかというと，まだまだ低いと筆者は感じている．例えば，国際会議等での参加者数でみると我が国は上位のようにみえるが，会議の委員長やパネラーなど表舞台での貢献度は少ない．また，技術の入手に専念する旧来の技術交流が今なお残っており，同等あるいは積極的な技術発信への転換がなされていない．我が国の技術基準や技術論文の大半は日本語で書かれているため，国際社会への技術発信にはなっておらず，それらが利活用されることは少ない．

技術情報は今やネット上でその多くが交換され，また e-business が行われる時代である．仕事柄，検索網を使って新規情報の検索を行うことが多いが，そこで感じることは，我が国から発信されている情報が量・質的ともに低く，多くが国際からのアクセスにさえ対応できていない．ビジネスへの展開を視野においた技術の売込みのための情報発信は国際間の競争において戦略的にも重要なはずである．

2．国際的な環境で働くために重要なこと

国際的な環境で活躍できる人材の育成について考える．建設業はこれまで内需産業として発展し，国際的には ODA 等のベースで実施される案件が大半であり，特に筆者の知る橋梁分野において国際企業との競争によって勝ち取った事例は数少ない．そのため，国際的な環境で経験を積んだ技術者は層が薄く，また国際的な環境で上位の立場で活躍できるエンジニアが十分に育っているとは言えない．これまで概括的に述べたように，我が国と海外（ここでは欧米）においては，契約形態，技術基準，商慣習などが大きく異なっており，善し悪し議論はともかく，我々が慣れ親しんできた我が国特有のシステムが役立たないことが多

い．今後，我が国のエンジニアが，国際業務の拡大を視野に入れてエンジニアリングの中枢として存在するためには，この国際的に実施されている諸要素を認識・実体験することが必要である．そして，他と異なる高度な専門知識の習得は当然であるが，これに自己主張，交渉能力や高度な語学力を身につける必要がある．言葉の障壁は国際的な環境で我が国のエンジニアが最も苦心しているところで，彼らが海外のエンジニアと対等の議論を可能とするための基本的な条件である．技術力相応の自信と国際的な役割(存在)を担っていくには，この言葉の問題が解決されなければならない．

これらの環境が整備されることによって，我が国が本来持っている個々の高度な技術を活用できることとなり，国際競争力が高まる．そして，我が国の建設業が資機材・物品調達や工事の施工のみに留まることなく，詳細設計を含めた総合エンジニアリングをマネジメントすることが重要である．詳細設計を実施することは，技術仕様にかかわることになるので，資機材調達から施工，管理までの広範囲に影響を及ぼす根幹部分であることを強調したい．

あとがき

建設業の国際競争力はつきつめて考えると，様々な面で異なる環境下で育った我が国のエンジニアが，国際の場で求められるグローバリゼーションに適応しつつ競争できるかということにつきる．個々の技術を取り上げれば，我が国の建設業の技術力は世界の上位に位置することは間違いないが，それに相応してエンジニアの姿が国際的に見えない．環境の違いは，例えば事業の執行形態や契約方式，マネジメント，技術基準，慣習，言語などに現れる．技術基準のあり方については，橋梁技術では世界の頂点に立つと言われる我が国の技術基準類が，国際的に評価され，しかもDefactoな基準として国際的に利活用されるように，国際的にも適用可能な基準として整備されることを提案する．

指摘される欧米とのコスト面での競争力の欠如も，実は我が国の社会構造と大いに関係があることを指摘した．さらに重要なことは，今後の国際競争力を強化するためには，国際的な環境で対等に働ける人材の育成が急務である．長期的には，国際分野をリードできるエンジニアが生まれる必要がある．

我が国の製造業は，品質の高さとコスト面での競争力を持ち国際競争力を発揮しているが，建設業は内需中心で発展してきたため国外での競争に対する取組みは十分には行われてこなかった．今後は海外に飛翔するための戦略の構築が必要である．

今回の特集が，優れた技術力を持つ我が国の建設業の国際化への大きな一歩につながることを期待する．

〔参考文献〕
1）大橋：日米におけるコンサルタントの役割と国際競争力について，土木施工（2003.5）
2）三木：21世紀土木ビジョン—土木・建築分野のおける新技術の開発・促進戦略に関する公開ワークショップ報告，土木学会誌（2000.9）
3）三木：わが国初の鋼管トラスウエブPC橋—那智勝浦道路木ノ川高架橋，土木学会誌（2003.5）

建設図書の単行本

技術専門書から楽しい読み物まで，建設図書は30年の信頼と誇りをもって皆さまにお届けいたします．
時代のトレンドに流されず乗り遅れず——
イグゼクティブな橋梁技術者ならいつもそばに建設図書の本．

だれがタコマを墜としたか
川田　忠樹　著
A5判　236ページ
定価3,150円（本体3,000円）
853m，世界第3位の径間長を誇ったタコマ・ナロウズ橋は，供用後わずか4ヵ月で死のダイビングを演じてしまった…．いったいなぜ!?　専門家以外にも楽しめる話題の書．

ボーモンの卵
—テイ橋落橋事件の真相—
川田　忠樹　著
新書判　144ページ
定価840円（本体800円）
1,000mもの鉄橋が列車もろとも一瞬にして吹っ飛んだ！『タコマ』に続く〝橋梁読み物第2弾〟．
ポケットにすぽっと入る新書サイズ，通勤の電車で是非ご一読を．
同時収録：セバーン橋の栄光と悲劇他1編

歴史と伝説にみる橋

W.J.Watson, S.R.Watson著
川田貞子訳　川田忠樹監訳
A5判　272ページ
定価2,100円（本体2,000円）
ふんだんに盛り込まれたエピソードや詩を通して，橋と人とのさまざまなかかわりを描く，さし絵も楽しい一冊．
目次の一例：虹の橋，橋上のパレード他

報　告

橋梁設計の照査にみる日米の相違と Independent Check の意義

Differences in Design Check of Bridges between Japan and United States and Role of Independent Check

Ohashi Harukazu
大橋治一*

まえがき

筆者は最近まで，米国のコンサルタントに勤務して橋梁の設計にかかわっていた．そのなかで，設計の照査に対する考え方が我が国と大きく相違することを経験している．そして，この違いこそが今後の我が国の建設業における事業の実施形態と設計責任のあり方を考えるうえで重要であると痛感している．ここでは，これらの相違点がどこにあるのか，その理由となる背景について日米双方の立場から考察した．

さらに，複雑多様化する技術に対する設計照査の有効な方法として，またその実施によって技術の促進につながると期待される Independent Check について米国での運用の実態を紹介する．

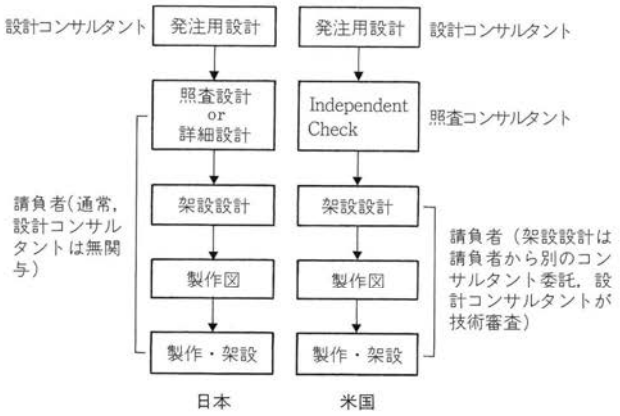
なお，本文は具体例を鋼橋に焦点を当てて記述しているが，コンクリート橋についても同様の制度で運用されていることを付記する．

1．我が国における設計の照査とその意義

1－1　発注用設計と詳細設計（設計照査）

我が国においては，コンサルタントは発注用設計*1を実施するが，発注者が独自に特記仕様書に定めるため特記すべき技術仕様に直接かかわることはない．そして，発注用図面には製作にかかわる技術仕様について記されていない．また，設計者であるコンサルタントおよび管理技術者の名前が図面に記されることもない．これは，設計図に対する技術上の責任が，設計の完了検査に合格した時点で，設計を実施したコンサルタントから発注者に委譲されるからである．この発注用設計の照査は発注者が自ら行っている．

我が国の鋼橋の設計では，製作に必要な製作の各段階で展開した図面（製作図）は，発注者が請負者に義務づけている詳細設計あるいは設計照査をもとに作成される．この詳細設計（設計照査）では，施工時荷重に対する応力照査や製作を考慮した構造ディテールの変更が行われるほか，コンサルタントが発注用設計で実施している活荷重などの基本荷重に対する設計が繰り返し行われる．そして，最終の設計図は請負者が作成し発注者がこれを承認するプロセスを経て完成する．これによって，設計図は発注用図面から請負者の作成した詳細設計図に置き換わることになり，設計責任が請負者に移るという仕組みになっている．



図－1　日米の設計から施工までの流れと実施機関の対比

図－1は，発注用設計から施工までの一連の作業の流れとそれぞれの実施機関を示し，米国の実施方式と対比したものである．発注用設計の設計者は工事完成まで設計者の意図が反映されているかを照査することはなく，発注後の請負者（あるいは発注者）に委ねられているところが特徴である．

1－2　詳細設計（設計照査）の審査上の問題

請負者から提出される詳細設計図の審査は，発注者が自ら実施するか，あるいは発注用設計を担当したコンサルタントから派遣された監督員を補助する施工管理員によって実施されている．実際には，発注者側の技術者数あるいは技術力の制約から，設計計算書，数量計算書や設計図のすべてが照査されることは少ない．つまり，発注者側の照査は主として結果の照査であり，すべての過程を照査するものではなく，その着目点は発注時に比べて工費の増減額につながる数量増減に絞られることが多い．また，発注後の詳細設計あるいは設計照査においては，発注時には検討されていない製作上の構造ディテールや製作法が議論となるが，請負者からの提案を審査するには経験と見識を持つ専門家が必要となる．これらの構造ディテールは，詳細設計図をもとに請負者が作成する製作図に示される．この製作図には，製作に必要とされる一切の情報が盛り込まれてお

*大日本コンサルタント㈱ 技師長 工博（2003年12月まで Parsons 社）

キーワード：設計照査，製作図，設計コンサルタント，照査コンサルタント，責任分離，Independent Check，プロフェッショナリズム

*1：各発注機関によって，発注用設計の内容（範囲）と呼称や，それに対応して請負者が受注後に実施する詳細設計あるいは照査の内容が異なる．

り，製作者は図面に記された寸法，製作仕様に従えば，要求される品質のものが出来るというもので，設計者の意図が反映されたものである．発注者はこの製作図についてかかわることはほとんどないのが実態である．

1－3　請負者が詳細設計（設計照査）を実施する理由についての解釈

ここで，コンサルタントの実施した発注用設計を，詳細設計あるいは設計照査という形で請負者に義務づけている（あるいは請負者が実施する）理由と問題を考えてみる．請負者側を代表する㈳日本橋梁建設協会の資料[1]によると，「設計ミスの是正と，製作・現場工事などの不備な点の是正」とされており，施工に関する知識が必ずしも十分でないコンサルタントがこれらを考慮した設計を行うことは不適当であると考えられると記されている．そして，製作施工する請負者が設計照査を実施している．

発注時において問題となることは，製作上留意すべき構造ディテール等がコストに直接影響するにもかかわらず発注用図面に示されていないことである．したがって，発注後に，請負者は構造ディテールを設計し，それに対して発注者は望ましいものを識別し採択しなければならない．その審査が十分でないと，品質よりも製作性（製作コスト）を優先した構造ディテールが採用される可能性がある．

同資料にはさらに，①施工者はどこまで照査する責任があるのか，②設計照査に要する費用が正当に評価されていない，③設計照査と詳細設計では作業のかなりの部分が重複するといった問題点が指摘されている．このような基本的事項が設計照査を実施する施工側から提示されていることは注目に値する．我が国の請負者は，架設設計などの施工に伴う設計のほかに，詳細設計や設計照査を実施するために相当数の技術者を抱えており，このことは製作コストが海外に比べて高いと言われる一因でもある．

この中では明瞭に指摘されていないが，さらに重要なことは，“設計と製作は切り離せない”という欧米の基本認識との違いである．製作性を左右する構造ディテールは往々にして設計の要求事項と相反するので，設計者が構造ディテールを決定するのが合理的であるという考え方が欧米にはある．より具体的に言えば，鋼構造設計の基本である疲労・破壊（Fracture）や座屈は製作と密接に関連する．にもかかわらず，疲労・破壊に対する設計がこれまではコンサルタントの実施する発注用設計の中では行われず，発注後の請負者の詳細設計（設計照査）に委ねられていることが我が国の特徴である．これらの設計が陽な形で実施され，その結果が発注用図面に要求事項として明記される諸外国と際立って異なる点である．

2．米国における設計の照査と技術責任の考え方

米国においては，発注用設計や詳細設計といった区別が存在しない．すなわち，発注用設計は最終の設計であり，請負者が設計を実施し，発注用図面や設計計算を照査することはありえないことである．したがって，設計に対する技術責任は発注用設計を実施したコンサルタント（以下，設計コンサルタント）が負う．設計能力を有する我が国の請負者が，仮に，設計にかかわる変更提案を要望しても原則として認められない．

また，製作にかかわる技術仕様については設計の重要な一部として位置づけられており，設計コンサルタントがこれを作成し技術責任を負う．さらに，工事費の見積もりは通常，設計委託の中に含まれ，設計図と技術仕様を作成した設計コンサルタントが積算するものとされている．

2－1　設計コンサルタントによる発注用設計の特徴

米国の橋梁の設計図に記されている情報で，我が国では示されていないものをある橋梁の例から紹介する．これらの項目は，発注後に請負者が施工あるいは製作図を作成するうえで，設計者の意図を示すものとして請負者が留意しなければならない重要な事項である．

① 設計条件，適用示方書等．
② 製作のためのワーキングポイント（基準点）．
③ 留意すべき構造ディテール．
④ 留意すべき溶接ディテールと非破壊検査の指定．
⑤ 請負者が実施工にあたって請負者の責任で確認すべき事項．
⑥ 補修補強の図面においては施工手順と施工条件（新設設計では施工図は通常は参考扱い）．
⑦ 施工前に，責任技術者に報告し承認を得なければならない特に重要な事項（現地で確認すべき寸法，状態等）．

上記のうち，設計図には製作に関する情報が含まれていることに留意されたい．製作に関する要求事項は，請負者に任せることのできない設計の基本事項であり，設計者によって定められるものと考えられている．我が国では請負者に依存しているところである．

既設橋梁の補修・改良設計においては，⑤の確認が重要であり，⑥については基本的な施工手順が発注用図面に示される．

新設の橋梁の設計において設計コンサルタントは架設設計そのものを実施することはないが，発注用図面に示される製作・架設単位の決定などで架設工法が想定される．施工法は絶対的なものではなく，請負者は選定した架設工法に基づき変更ができる．このように，設計コンサルタントは他のプロジェクトにおいて，請負者からの委託によって架設解析を実施し，既設橋梁の改良設計において施工法にかかわるので，実施工に対する経験が豊富である．

設計図に記される技術者は各発注機関によって異なるが，一般に，図面作成，設計計算書，設計数量のそれぞれについて，設計者と照査を実施した技術者名，それに設計責任者（Project Engineer）ならびにプロジェクト管理者（Project Manager）の名が各図面に記される．

2－2　設計コンサルタントの発注後の役割

発注用設計にかかわった設計コンサルタントは，通常，発注後は発注者からの委託によって技術サポートを行う．そこでは，請負者が提出する製作図と製作・施工法の審査が主な役目となっている．製作あるいは施工現場における品質管理は発注者が委託したコンサルタントが実施し，発注用設計を実施したコンサルタントがかかわることはなく，

ここにも責任分離の考え方が明確にされている．

請負者の作成した製作図は，設計者の意図に沿ったものかどうか，本体に影響を及ぼすものではないかという視点から審査される．請負者は先に述べた我が国とは異なり本体の詳細設計を実施しないから，請負者が製作，施工のために本体に工作する付加物が本体に及ぼす影響（特に溶接付加物による本体構造の疲労）やそれによって導入される付加力の評価は，設計を実施した設計コンサルタントの手によって照査されることになっている．同様に，架設計算や施工図面についても徹底した照査が行われ，クリティカルとなる架設計算については別途実施して請負者の結果との照合が行われている．

このようなことから，設計コンサルタントは請負者から提出される設計の変更承諾願については，その技術的な是非よりは，設計の正当性を主張する立場が重視されることが多い．このような設計コンサルタントの硬直した反応は新しい技術の採択を阻害するという指摘もある．しかし，この背景には技術上の全責任を負うことがあり，後にこのことで問題が生じた際には請負者からの変更提案によって実施された事項であっても，設計コンサルタントが責任を免れることはできないからである．

2－3　設計コンサルタントによる製作図の照査

製作図は100%の照査が原則であり，上述した立場を堅持するために，製作図の照査は設計コンサルタントにとっては極めて重要な作業となっている．そのことを理解するために，具体的な作業の内容を紹介する．まず，第一照査技術者（Checker）が製作図に記載された事項のすべてについて発注図と照合を行い，照査内容は記録として残すことが義務づけられている（照査によって適正が確認された事項は黄色のマーカーで記され，問題個所は赤で表記される）．次に，第二照査技術者（Back Checker）によって見落としがないかの照査を行い，併せて第一照査技術者が発見した問題について独自の照査が行われる（第二照査技術者が確認した事項はグリーンのマーカーで記される）．

この段階で，第一照査技術者との相違点や新たな問題が出てきた場合には，両者で話し合いが持たれ，相違点の解消あるいは統一見解への集約作業が行われ，製作図に指摘事項案が記される．この段階で残った指摘事項などの問題については，設計の直接責任者であるProject EngineerおよびProject Managerが指摘内容の確認を行ったうえで，製作図に対する技術者の意見として，承認，非承認あるいは条件付き承認といった形で発注者に報告される．そして，これが請負者に対する技術者の審査結果の回答として伝達される．

なお，内部の照査結果の記録には，設計者，第一照査者，第二照査者，および是正されたことの確認者の署名とそれらの実施日が記載される．

3．Independent Checkの意義と実態

米国では，設計コンサルタントの成果については発注者が自ら照査することもあるが，大きなプロジェクトについては第三者の専門家による照査としてコンサルタント委託が行われるのが一般的である．照査の形態や内容は発注機関やプロジェクトの規模によって異なるが，多く採用されている方法の一つがIndependent Checkと言われる設計の照査を設計者と別のコンサルタントに委託して実施するものである．このIndependent Checkはヨーロッパにおいても実施されている．

米国における2つの事例と我が国の1事例を紹介するが，設計照査の発注形態としては，施工主（発注者）から委託される場合とデザイン・ビルド契約等で請負者から委託される場合がある．

3－1　Independent Checkの内容

通常は，設計コンサルタントが作成した図面と設計条件のみが提示され，設計条件の妥当性の審査，図面をもとに独自に解析を行い，得られた断面力等に対して図面から算定した耐力に対して照査するものである（設計計算書は照査コンサルタントには提示されないから，設計結果の照合による確認作業である）．言うまでもなく，この中には設計コンサルタントの図面に記された構造ディテールの是非に対する審査，さらには構造システムの良否や製作・施工性の評価まで含まれる．

このような照査業務は照査コンサルタントにとって設計コンサルタントの技術評価（批評）の場であり，さらに重要なことは発注者に対して自らの得意技術を示し将来の受注につなげる戦略的な機会でもある．照査コンサルタントの指摘した問題点は発注者に提出され，設計コンサルタントはそれに対する書面（Comment Resolution）で回答することが行われる．設計コンサルタントと照査コンサルタントの双方は，照査コンサルタントが指摘した問題点がすべて解消され両者が合意するまで議論が続けられる．設計コンサルタントは，膨大な設計情報を持っているが，情報の提供によって自己の立場を不利にしないように情報を適宜コントロールしながら回答するといった手段がとられる．この間，発注者は表立って技術論争に介入することはなく，設計コンサルタントと照査コンサルタントの調整に期待する．照査コンサルタントに課せられた時間や費用の制約から，最終的に設計コンサルタントが技術責任をとる形で決着することもある．設計コンサルタントにとって設計のミスや不備の指摘は受け入れざるをえないが，照査コンサルタントからの構造提案をそのまま採用することは設計コンサルタントの立場からしてありえないようである．競争関係にある技術者が別の角度から設計を徹底して照査して誤りや問題を提起する方法は，誤りを防ぐという本来の目的のほかにも，技術における緊張関係を育む効果がある．この点，通常の設計照査のように，設計コンサルタントの成果を原点としてその延長上の照査を行うものとは異なる．

デザイン・ビルドのように施工業者と設計コンサルタントがJV構成員であった場合においても，設計コンサルタントの成果を別途，コンサルタントに照査させることが行われている．

このように，Independent Checkは，発注者に代わって第三者機関が設計の妥当性を照査する行為であるが，これは設計コンサルタントと照査コンサルタントの技術力の勝

負の場でもある．我が国にこれが導入されることによって，これまでの表立った競争を排除し，受入れ許容量の大きな我が国の風土に，技術の競争を芽生えさせることも期待できる．

3－2　実例１：民間発注によるデザイン・ビルド契約における設計照査

照査コンサルタントの立場で経験したデザイン・ビルド契約によるパイプライン吊橋の設計照査設計の事例を紹介する．照査コンサルタントに要求された内容は以下のように，設計の照査のみならず製作方法，架設工法，技術仕様書など多岐にわたった．

① 設計条件（適用基準の妥当性，荷重とその組合わせ，設計法）．
② 風洞試験の試験条件（固有振動数，振動モード，縮尺等の模型化にかかわる問題）．
③ 設計時に想定する架設計画に対するコメント．
④ 最適な骨組，変位制御方法など構造システムに対するコメント．
⑤ 設計図に対するコメント（構造ディテールの不備・問題点，欠落事項の指摘）．
⑥ 常時荷重，風荷重に対するIndependent Checkによる主要部材の断面力/耐力および変位の照査．
⑦ 製作に関する技術仕様に対するコメント（要求品質に対するコメント）．
⑧ 架設工事の技術仕様に対するコメント（要求精度，責任分界に対するコメント）．
⑨ コントラクターの技術資格審査に対するコメント．
⑩ 発注者，設計コンサルタント，照査コンサルタントの三者による電話による週間プログレスミーティング．
⑪ 発注者，設計コンサルタント，照査コンサルタントの三者による月例ミーティング．
⑫ 設計の課題，問題点の指摘の報告．
⑬ 照査結果の最終レポートの提出．

照査コンサルタントにより，上記の①から⑤の項目についてComment Resolutionの形で設計コンサルタントに最初の段階で提示された設計，架設に関する指摘は約100項目，両者の合意をもって最終設計に正式に移行するまでの期間は３カ月を要した．最初のミーティングから最終のレポート提出の期間は６カ月であった．また，その期間中６人の技術者が担当，そのうち３人は100%の従事率であった．このプロジェクトは規模としては小さく，照査の要員や期間も短いが，照査コンサルタントに要求される内容としては共通である．

3－3　実例２：公的機関発注の請負者の施工解析の照査

もう一つの事例は公的機関発注の1900年代初期に架設された４径間ゲルバートラス橋の解体工事の事例である．ここでは請負者の提案する解体施工法の実施計画および解体解析は請負者からコンサルタントへの委託によって実施されたものであるが，発注者はこの照査を別のコンサルタントに発注している．具体的には，別途に構造解析モデル（約4 000部材からなる３次元骨組モデル）を構築し，施工手順ごとに解体計算を行い請負者の実施した結果と照合するものである．請負者の提案する施工法に不備があればこれを指摘する．ただし，照査コンサルタントは，請負者の提案する施工法より優れた施工法や問題の解決策があったとしても，問題や課題を指摘するのみで具体的な方法が示されることはない．そして施工手順が詳細に記された図面や施工管理基準などの照査が行われる．

このIndependent Checkでは，驚くことに立体骨組解析を行うためにマイクロフィルムに保存された当時の設計図や製作図を読み取るという膨大な時間と費用を要する作業が必要にもかかわらず，設計コンサルタントと照査コンサルタントが独立にこれらの作業を実施したことである．照査コンサルタントとしては，設計コンサルタントの作成した入力データを借用すれば時間の短縮と費用の節約が図られるが，これを敢えて行わずに照査の独立性を徹底していることを見れば，“照査”に対する真剣さを理解していただけるであろう．

この経験から学んだことは，膨大な時間を要するモデルの構築作業を重複して実施することは一見無駄のように思えるが，この作業を通して本質的な問題を発見したことである．古い橋にはありがちな図面から構造の判読が難しいもの，当時の施工法が明らかでないもの（例えば，閉合後の部材架設の有無，完成後に変更された構造，荷重）は，独立して解析が実施され，その結果が対比されることによって初めて明らかになることがあった．

こうした２つのコンサルタントが別々に解析および設計を実施し，その結果と設計図と照合することは，“設計者の見落としを軽減し，問題点を未然に発見する”ためのリスク管理の一つとして，とりわけ複雑な構造システムを扱う場合には有効な方法である．

3－4　実例３：我が国の請負者の設計した複合トラスPC橋の設計照査[2)]

我が国の国土交通省から上下部一括のデザイン・ビルド契約で実施された複合トラスPC橋についての第三者機関による照査が行われた画期的事例である．我が国では請負者が設計技術者を要するため，この契約においては請負者によって詳細設計および架設設計が実施されたが，我が国で採用される初めての複合トラスPC橋であるということで，同種の経験を有する国外のコンサルタントに委託して設計の照査を行うことになったものである．

この照査は請負者から委託され，わずか３カ月間という異例の照査期間と費用上の制約から，上記２例で紹介したような完全なIndependent Checkは行われなかった．委託内容は，完成時および施工時における構造の安全性について計算過程ならびに図面の照査と照査結果の委員会報告であった．照査コンサルタント側の立場として参画して感じたこと等を以下に紹介する．

ⓐ 請負者の実施した設計をコンサルタントが第三者の立場で照査するという我が国では初めての経験であったが，照査および結果報告の実施においてコンサルタントの中立性が保たれた．
ⓑ 完全なIn-house Engineerによって実施された解析・設計計算・図面の照査は，３カ月という限られた時

間内で，しかも海外との情報伝達というハンディを持ちながらも効率的に進めることができた．

ⓒ 照査作業には，解析および施工の熟練した技術者が充当された．通常実施する独立した解析モデルの構築，架設ステップごとの解析は実施されなかったが，請負者の作成した解析データのチェックに留まったが，モデル化の問題など基本的事項についての厳密な照査が行われた．

ⓓ 本橋の適用基準は道路橋示方書，照査はAASHTOおよび技術者の経験に基づいて実施されたが，基準規定の違いといった次元の問題はなく，技術力の評価において大きな差異のないことが立証された．

ⓔ 委員会で報告する照査結果は事前に請負者に報告され，それに対する対応が請負者から報告された．委員会は有識者に加えてコンサルタントの照査技術者が参加し照査結果を報告することとなり，設計者(請負者)と照査技術者が対等に議論する場が与えられた．

ⓕ 照査結果の委員会報告において未解決の問題については，後日，請負者からコンサルタントへの報告をもって完了した．

ⓖ 上下部工一括契約，デザイン・ビルド契約という世界標準に近い形で事業が実施され，その中で照査コンサルタントの果たすべき役割が明らかにされた．

上記の事例では，米国におけるIndependent Checkで一般に求められる完全に独立の解析や設計の実施によって設計図面，技術仕様が照査されることはなかったが，我が国で初めて第三者機関による照査が行われたことの意義は大きい．我が国では有識者による委員会形式で審議が行われるが，この事例のように，独立に実際に設計を照査した照査技術者が正式な委員として結果を報告し，設計者と議論する場が設けられることは重要なことである．

4．振り返って，あるべき設計照査とは

以上のように，日米においては設計の照査に対する考え方とリスク回避に対するコストのかけ方が異なる．我が国では，最終設計を実施する請負者に設計の責任を負わせる形態をとっており，請負者の技術力および品質保証体制に対する信頼を前提にしている．その意味で発注用設計を実施するコンサルタントには設計責任が及ばない．設計照査についても抜取り的な照査で済まされている．

しかしながら，技術の高度化と複雑化，性能設計の導入などにより，これまでの基準の規定に照らした抜取り的な照査は本来の意味を成さなくなるおそれがある．しかもデザイン・ビルド契約のような請負者に設計から施工のすべてを委ねる契約の導入が本格化すると，その設計に対する照査はこれまで以上に徹底して行う必要があるが，これを発注者に期待することは困難となろう．そのための対応策として，発注者を補助あるいは代行する機関としてコンサルタントに照査を委託する方法を採用することが最も現実的であり，海外のコンサルタントが担っている役割と同等となる．ここでコンサルタントに要求されることは，中立性の保持と高度な技術力（全般と細部を兼ね備えている）を有することである．

設計照査の一つの方法としては，別途に設計を実施して結果を照合するIndependent Checkの導入が考えられる．言うまでもなく照査の内容には設計計算や設計図に留まらず，技術仕様が含まれるべきである．この経験を通してコンサルタントの技術者は製作・施工を考慮した設計を熟知することとなり，技術者間の競争意識が生まれるであろう．

5．社内の技術教育とプロフェッショナリズム

Parsons社の新入社員には教育指導制度（Mentoring）によって指導的立場の技術者が一人付くことになっているが，新入社員といえども入社直後から設計に直接かかわり，その成果に対して署名という形で責任の一端を担わされている．また，経験の浅い段階から製作図の照査に相当の期間従事させられる．したがって，我が国のような製作や施工についての研修を受けるといったことではなく仕事を通して鍛えられるのである．我が国では相当の製作に関する経験者でないと関与することのない構造ディテールや詳細な溶接施工の審査にかかわる．

これらを可能としているのは教育の違いにも一因があるように思える．手元にある2冊の本[3)4)]はいずれも大学教授の著書で，大学の教科書として使われているものであるが，溶接や接合部などの構造ディテールに相当な頁数を割いており，実用書さながらの内容となっている．鋼構造のみを扱った教科書が実に1 000頁を超え，我が国の実例の少ない専門書とは大きく異なる．いずれの著書も理論面の説明を補完し，実務者にとっても利用しやすいように豊富な実際的な設計計算例が盛り込まれていることが特徴である．このような教育の姿勢が，若手技術者が入社後に即座に実務にかかわることを可能としている理由の一つであるように思える．

設計コンサルタントの技術者が持つ高い責任意識，すなわちプロフェッショナリズムはこのような環境の中で培われるものであろう．人的過誤をなくす社内の徹底した品質保証システム，自らの成果に責任を負わされる（というよりむしろ常に自らの立場を主張し守らなければならない立場）環境，そしてこれらを支えるプロフェッショナリズムが背景にあると考えられる．

設計の過誤をなくすことはLiability（設計責任）に対する保険料の違いにも表れ，発注者への信頼にもつながるので経営上も重要である．このために徹底した照査を行う体制をとっている．しかし，ここで大切なことは，設計照査を技術の専門家に任せていること，それに対する費用が不可欠なものとして確保されており，設計照査の範囲と責任，設計費が製作の一部に含まれているといった曖昧さをもって運用されている我が国の実情とは根本から異なっている．そして米国を含む海外では技術力の評価はあくまでもコンサルタントの技術力に対するものであり，請負者は設計あるいは架設解析を実施するための技術者を抱えず，これらをコンサルタントに全面的に委ねている．そういった自覚と技術を行使することに対する誇りがコンサルタントの技術者にある．

あとがき

本文は，筆者が米国のコンサルタントでの５年半の経験と，20年近い公団の技術者としての経験をもとにして執筆したものである．本題の照査は設計の中で最も重要なアクティビティであり，このことに焦点を絞って我が国と米国における考え方の違いについて具体例を示しながら紹介するとともに，我が国の建設業の今後のあり方について実務者の立場から考察した．

考え方の違いの本質は，我が国では請負者に対して設計能力と内部の照査体制が機能していることを要求していることであり，欧米におけるコンサルタントの機能が請負者の機能の中にビルトインされていることである．

欧米におけるコンサルタントによって実施される徹底した内部照査や照査コンサルタントに委託して実施されるIndependent Checkは，リスクを排除するための方策として取り入れられているものである．ここにIndependent Checkが設計者の計算を逐次追いかける照査方法ではなく，設計の前提条件の照査，独立した解析ならびに設計計算，設計結果と設計図との照合であることに留意されたい．このようにコンサルタントには，時に行き過ぎたコスト至上主義から請負者が設計の要求品質を遵守しないことのないようにWatchdogとしての役割が求められている．言わば性悪説に立った照査と言えよう．そして，このことが良い意味で緊張関係を生む．これによって生じる設計の調整期間や照査コンサルタントに支払われるコストが新たに生じるが，リスクヘッジや発注者側の負担軽減等を考え合わせると，このような制度の導入が単純にコストの増大に直結するとは考えられない．Independent Checkは設計の照査を専門家である別のコンサルタントに委ねるというもので，発注者側からの権限の移譲でもある．

最近の話題であるイタリアのメッシナプロジェクトは，明石海峡大橋を超えて世界最大となる道路鉄道併用吊橋とシチリア島とカラブリアの陸上部区間の道路，鉄道の建設を含む超大型プロジェクト（Stretto di Messina SpA 公式ウェブページに示された2002年価格は46億ユーロ）であり，唯一の契約で実施される．このプロジェクトはデザイン・ビルド・オペレート契約で実施される．その設計照査は発注者から別途委託されたコンサルタントによってプロジェクトマネジメントの一部として実施され，完全なIndependent Checkが行われることとなっている．このようにIndependent Checkは欧米の主要国で一般的に実施されている照査の一形態である．

本文における問題提起は，我が国が直面する技術の複雑・多様化および将来の発注者の技術面での役割縮小を視点において，設計照査のあるべき姿に対して行ったものである．同時にグローバル化の中で我が国の建設業が勝ち残るためにも検討すべきことである．後者の視点は，海外標準と我が国のそれとの違い[5]を認識することが第一歩となる．違いの多くは我が国特有の制度や慣習として現存しており，我が国の企業が海外で事業を実施する場合には“国内ルールから国際ルールへの切替え”のために相当の労力とコストが必要とされている．

このような時代変化を迎えて，我が国の建設業がこれまで拠り所としてきた我が国特有の事業の実施形態の見直し[6]を検討すべき時期にきていると筆者は考える．先に述べた国内外で区別しなければならない不便さやそれによる非効率性をなくし，我が国の企業が国外で存分に力を発揮し，国際競争力を高めることができるように関連する諸制度を改善する必要がある．

〔参考文献〕

1）日本橋梁建設協会：鋼橋上部工事の望ましい施工体制と入札方法について（2003．2）

2）三木：我が国初の鋼管トラスウェブPC橋―那智勝浦道路木ノ川高架橋，土木学会誌（2003．5）

3）Salmon, Charles G., Johnson, John E.：Steel Structures：Design and Behaviors, Harper Collins College Publishers.

4）Gaylord, Edwin E. Jr., Gaylord, Charles N., Stallmeyer, James E.：Design of Steel Structures, McGraw-Hill, Inc.

5）大橋：米国における鋼橋の補修補強の事例と我が国の建設業の国際化への課題，第８回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，土木学会（2005．8）〔我が国の鋼橋業界が国際競争力を発揮するために必要とされる技術上の課題を整理した．技術者の競争力向上のためには，発注者，請負者，コンサルタントの現在の役割分担の見直しが必要であることを示した．さらに，コンサルタントについて，発注者側（国民）側に立つ中立的機関としての役割の強化の必要性について述べている〕

6）大橋：コンサルタント技術者からみた我が国の国際競争力，橋梁と基礎特集号「競争力の時代」（2003．8）〔発注者・請負者・コンサルタントの三者構造による執行形態，情報の収集から発信への転換，技術者に要求される資質，コミュニケーション能力，技術基準の国際化の必要性などについて述べている〕

好評発売中

耐風工学アプローチ　　山田　均　著

第１章　さあ耐風工学を始めましょう
第２章　風によりどのようなことが起きるのでしょうか
第３章　耐風設計への第一歩
第４章　悩み多き耐風工学
第５章　風洞実験の前に
第６章　等価質量とスクルートン数
第７章　風洞実験の条件
第８章　風洞実験結果のとりまとめ
第７章　風洞実験を見て起きる疑問
あとがき

建設図書　新書判，本文160ページ，定価1223円（本体1165円）

報　告

グローバル化時代のコンサルタントの役割と設計照査の意義

The Role of the Consultant in Globalization and the Importance of Design Check

Ohashi Harukazu
大橋治一*

まえがき

「グローバル化時代のコンサルタントの役割と設計照査の意義」[*1]では，私がパーソンズ社（米国）でコンサルタント技術者としての実務体験の中で考えた「日米のコンサルタント比較論」について述べてみたいと思います．

まず私が海外でどのような業務にかかわったかをご紹介します．海外で働く前の約25年間は，本州四国連絡橋公団という発注者としての立場から本州四国連絡橋の設計や建設にかかわりました．しかし，1999年の3ルート完成を機に，新たな目標としてThe Engineerが評価されるコンサルタントの世界に憧れて，自分に蓄積された技術の活かせる場を求めました．その結果，2000年7月，コンサルタントの道を歩むことを決心しました．先方のコンサルタントからのオファーがあり，また，我が国の方が技術的に進んでいるであろうという期待はあったものの，設計計算や図面を直接扱わなければならないコンサルタントで果たして仕事をリードできるのか不安を持ちながらの渡米でした．

約5年半の滞在の間，上記テーマを終始考えさせられることになりましたが，20件近いプロジェクトにかかわることができ，米国内のプロジェクトのみならず米国外の案件にもかかわりました．また，私が専門とする吊橋や斜張橋といった長大橋のほかに，PC橋や跳ね橋のような様々な形式の橋梁にもかかわることになりました．着任当初にかかわったメッシナ海峡大橋の設計照査業務では，イタリア政府から委託を受けて事業化に向けた技術的可能性の判断を行い，既往の設計成果や技術基準の評価を行いました．また，我が国の橋梁メーカーが受注したNew Carquinez橋のConstruction Support業務においては，発注者への技術支援の役割を担当，また設計照査としてIndependent Design Checkにもかかわりました．鋼・コンクリートの構造，上・下部工，新設橋・既設橋といったことでの区別は一切なく，また，H1Bという高度専門職に与えられる一時雇用ビザ（Temporary Working Visa）という特殊条件からノーと言いづらい環境のなかで，様々な技術を体験することができました．さらに研究開発分野として現地計測や調査研究にもかかわりました．短期間ではありましたが，私に任された仕事は広範囲であり，海外のコンサルタント技術者に求められる，「技術の幅の広さと同時に深さ」を強く印象づけられました．

*大日本コンサルタント㈱ 経営統括部 技師長 博士（工学）

1．グローバル化時代のコンサルタントの役割

まず，グローバル化時代のコンサルタントの果たすべき役割は何かについて問題提起をいたします．第一は，我が国の業務執行システムの技術が分業化された中で，果たして設計照査は機能するのかということです．設計照査にはコンサルタントにおける内部照査と成果を受け取る発注者側の照査があります．また，我が国で近年施行されているDesign-Build契約における設計照査の問題についても触れたいと思います．

第二は，我が国の業務執行システムの中で，果たして国際競争に対応できる技術者を育成できるかということであります．海外のコンサルタント技術者としての自らの経験から，我が国の技術者が国際競争する際にどういった点が欠如しているのかについて説明いたします．

それから第三は，海外を視野においた国内技術に関することであります．我が国の設計基準が海外で適用されるためにはどうすべきか，また国内の技術士の資格が海外でも通用するように国際間の技術者の相互認証制度を推進することが必要であることを説明いたします．

それでは，我が国の事業執行システムについて説明いたします（図-1）．業務にかかわるプレーヤーとしては発注者，コンサルタント，施工業者の3者であります．ここで発注者が担う技術的役割は，主に技術仕様書の作成と工事監督です．一方，施工業者は詳細設計，架設設計，施工といった実務の大半を担っています．コンサルタントの技術的役割を改めて見てみると，発注前設計と施工管理に限定されています．発注前設計は工事発注後に請負業者によって再設計あるいは照査が行われることが前提となっており，施工管理に至っては監督員補助として技術サポートを行うことに限定され，技術的に一切の責任を負わないことになっています．このシステムは発注者が主体となって効率的に運用できるように考えられたもので，各技術は発注者，コンサルタント，施工業者に分業化されています．

これに対して欧米の多くの機関で採用されている事業執行システム（図-2）では，前述した3者，すなわち発注者，施工業者，コンサルタントの関係において，コンサルタントが最終設計を実施し技術仕様書を作成することになっています．併せて，施工法を考案して工事工程・工費の

*1：本文は，平成18年6月6日に実施された鋼橋技術研究会（会長：藤野陽三）総会での特別講演の内容に，『橋梁と基礎』編集委員会の依頼により筆者が加筆して纏めたものである．

キーワード：グローバル化，二者執行構造，三者執行構造，設計照査，国際競争力，人材育成

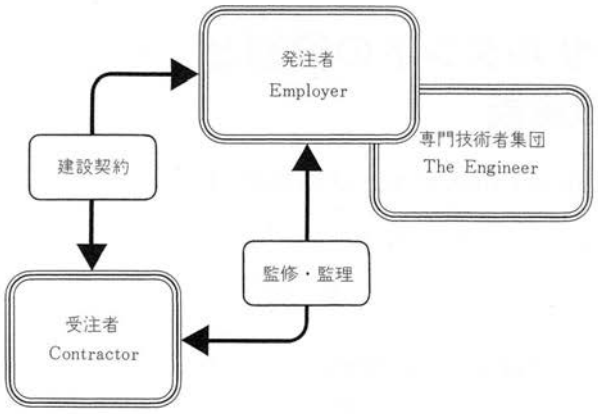


図-1　公共工事標準契約約款の基本理念（二者執行構造）[2]

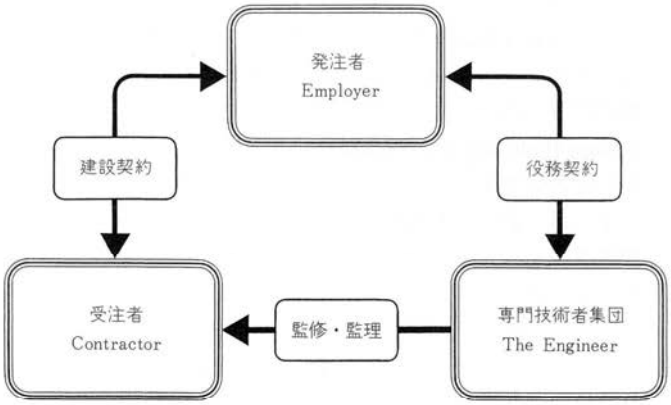


図-2　FIDIC 国際建設契約約款の基本理念（三者執行構造）[3]

見積もりまで作成するわけです．発注者はこれらの成果をもとに工事の Contract を行いますが，発注後においても製作や施工法の技術審査は設計したコンサルタントがかかわります．このように設計者であるコンサルタントは施工にも深くかかわり，設計思想が施工にも正確に反映されるような仕組みとなっています．

発注後の施工管理については通常，施工・品質管理に関する専門コンサルタントが実施しますが，設計者と施工管理者を分離することが一般的です．その理由は，施工時に発生した問題が設計によるものか，あるいは施工によるものかを判別するために，これが同一者によって行われる場合には責任の所在を明確にすることは困難であるという考えからであります．また，施工業者が施工する段階で必要になる架設解析や架設物の設計についても，設計コンサルタントとは異なるコンサルタントが実施いたします．このようにプロジェクトの実施には一般に，設計者，架設設計者それから工事監督者という少なくとも 3 つの分野を担当するコンサルタントが介在することになります．こうして Conflict of Interest が排除きるように，責任分離の立場を徹底させています．

もう 1 点触れておきたいことは，設計コンサルタントが設計や解析をする際に，高度な理論的検討や実験研究が必要となった場合には，大学に委託することが多いことです．すなわち，開発研究分野の業務においては大学の役割が大きく，コンサルタント業務のパートナーとなります．我が国とは異なり，民間の研究機関が少ないので必然的に大学がその役割を担わざるをえなくなっています．プロポーザル作成においては，どの大学の研究者と組むかが競争を勝ち取るうえで重要なポイントとなります．こうして，大学は実務に密接な関係を持たされており，アメリカの大学教育が実務を重視した側面があることも頷けることです．私が担当した大学との委託で実施した業務としては，活荷重や地震の確率的手法（プリンストン大学，ニューヨーク州バッファロー大学との委託），吊橋ケーブルの実大模型を使った腐食モニタリング技術の開発（コロンビア大学，ドレクセル大学，民間の計測会社との共同研究），鋼床版桁の載荷試験および疲労照査（リーハイ大学）です．

なぜ，コンサルタントに技術が集中する仕組みになっているのでしょうか．これは，発注者や施工業者には設計を実施するために必要な技術者を持っていないからです．我が国のように施工業者のインハウスエンジニアが詳細設計，設計照査や架設設計を行うといったことは，アメリカの施工業者では能力的にできない実態があります．したがって，施工業者の役割は設計図面に基づいて目的物を造ることに限定されており，そのことに特化した，一般管理費，技術経費の少ない経営体となっているわけです．

一方，我が国の業務執行システムはよく二者構造と言われますように，この 2 者というのは発注者と施工業者で，コンサルタントはその中に入っていません．このように業務の執行システムには欧米と大きな隔たりがあるということです．

2．設計照査の意義とデザインビルド契約の問題点

それで，ここに本来のコンサルタントの責任と役割という点から，私が考えるコンサルタント像を申し上げます．中立的機関として施工業者と緊張関係を保つという条件が第一であります．その場合，発注者すなわち国民の視点を持ち，かつ技術に対して他者と差別化できるプロフェッショナル意識を持つということであります．それから第二は，上流機関としての役割を持ちつつ，技術全般に関与し，その技術責任を負うことです．そのために厳格な照査体制が確立されていなければなりません．

さて，設計照査は最近，我が国の建築関係の耐震偽装で話題を呼んでいますが，設計照査の質的向上は「意識の変革」と「執行システムの改善」からというのが私の考えです．具体的には，設計技術者と照査技術者を確立するということで，最も簡単なことが設計図書に管理技術者名と実施日，照査技術者名と照査実施日を記載するという，技術者の意識向上につながることを実施することが 1 点目です．2 点目は照査記録の保持ということです．3 点目は，照査の徹底のために担当者間の照査だけでなく，照査システムの機能状況に対する監査機能のある組織を持つことですが，これは Quality Assurance と言われるものです．

米国の設計における内部チェックの仕組みですが，コンサルタント内部で照査を指示された技術者が計算書，図面を完全にチェックします．図面の照査は徹底したもので，大まかに言えば 1 日に 2 ～ 3 枚程度を見るといったペースで進められ，図面に示された寸法間の整合性や溶接が特に

重点的に照査されます．照査についてはコンサルタント内部に照査要領が定められ，どのような個所をどのような割合で照査すべきかガイドラインが示されています．その結果，仮定条件，設計計算の誤りや見解の違いが出てきますと設計技術者と照査技術者との間で徹底した協議が行われます．ここには，社内の友人，先輩・後輩といった一切の関係を排除したもので，その指摘内容は実に容赦ないもので，非常に厳しいものです．照査する側に妥協はなく，自分の存在理由を訴えているかのようです．両者の協議が終わりますと次はプロジェクト全般を仕切るプロジェクトエンジニアあるいはマネージャーが照査内容を確認します．これらが完了した段階でチェックプリントという照査証明が行われ，その記録が保存されます．ここまでが実施者間の照査ですが，先のQA Auditは経験豊かな技術者が中立的な立場で照査状況が審査されます．計算書のフォーマット，誰が設計したか／誰が照査したか／誰がreviseしたかの作業の流れ，ファイルの保存場所，計算書や図面の一切に照査記録が残されているかといったことまで確認されます．照査が実施されたものには，“Drawing checked against calculation and calculation check confirmed.”とスタンプが押されます．こうして，図面が計算と合致していること，計算がチェックされたことが確認されたことを記録として残すわけです．

さて，複雑な構造や大型のプロジェクトでは，Independent Design Checkという設計照査が採用されることがあります．これは設計者が実施する内部照査のほかに，第三者である別のコンサルタントがまったく別の観点から設計を行い，設計コンサルタントの設計結果と照合し合うといったことです．照査コンサルタントによる照査は，設計者の設計条件の妥当性の照査から始まり，構造計画の適正，設計図面をもとに自ら解析モデルを作って代表的な荷重ケースによる解析の実施，解析により得られた断面力が設計図面に示された断面で十分であるかの耐力照査などを行います．構造詳細や製作仕様書や基本的な施工法についても照査の対象となります．このように，設計コンサルタントの設計結果を追いかける照査方法ではなく，施工に用いられる設計図面の妥当性を検証するという，言わば性悪説に立った照査方式です．ここには両者の結果が同じでなければならないといったことの確認ではなく，物造りに使用される設計図面に致命的な誤りがないかをまったく別の目でチェックするというものです．照査作業は設計が完全に終了する前に後追いで実施されることが多く，設計者の手戻りを軽減するために，照査の途中段階で設計者との連絡調整の場が設けられています．そこで照査側が発見した課題については，Comment Resolutionという書類を提出し，設計者に対して事前に問題と考えられる点を明らかにします．そして，問題点に対しては設計コンサルタントと照査コンサルタント間の協議が行われ，その解決が図られます．

次に，最近話題となっているデザインビルド契約（Design-build）について，課題を設計照査という意味から考えてみました．Design-buildというのはContractorが設計から施工までを一貫して実施するわけですから，これまで業務の調整役を果たしてきた発注者の負担が軽減するとか，あるいは施工者の技術が設計段階で反映され，これが工費削減や工期短縮につながるといったメリットがあります．そしてそこから生まれる利益を請負者に還元できることから請負者にincentiveとして働くため，アメリカでも多くのプロジェクトに採用されつつあります．しかし，その設計照査という観点から我が国の現状を欧米と対比してみると大きな違いがあることに気づきます．我が国の場合は施工業者がIn-house Engineerを抱えているため，設計は施工業者のIn-house Engineerが実施することになるわけです．それに対して欧米の場合には施工業者に設計者がいないので，JVとしては施工業者，設計コンサルタント，架設設計コンサルタント，照査コンサルタントといった構成員からなります．その中でお互いが照査・検査し合う体制になっています．照査については，我が国ではIn-house Engineerが内部照査で済ませてしまうのですが，欧米では照査コンサルタントにIndependent Design Checkを行わせています．このように，我が国で採用されているDesign-build契約における照査方式が十分であるかについては十分議論する必要があると考えます．

さらに，これまで各段階で実施されてきたコンサルタントによる計画設計等が省略あるいは簡略化され，施工業者からのプロポーザルが採択されることになると，プロポーザルの評価を実施する発注者側にこれまで以上に技術力が求められます．併せて，これまでの規定遵守型設計から性能規定型の設計に本格的に移行すると，高度な技術判断が必要となります．このような中では，定量的評価の容易な指標であるコストに重点が置かれ，技術評価の適切さを欠くといったリスクがあることも念頭に置かなければなりません．こうしたリスクを軽減するために海外では一般に，技術プロポーザルを提出させ評点の最も良かった入札者と費用のネゴを行う方法がとられています．

3．国際競争力の強化と人材育成

次は，国際化に対応できる人材の育成です．国内で経験を持つ技術者が異なる技術文化の中で経験することは，自分の知識，考え方に対する常なる挑戦であり，その結果として，何が自分に不足しているかを問いただすことでもあります．そこから結論づけられたことは，他人と競争できるしっかりとした専門分野を持ち，それに対して深い見識を持つこと，プロジェクト全般の実施に必要な広範な知識を持つことです．もう1点は，グローバルなスタンダードに精通していることです．我が国の道路橋示方書などの基準は国際の舞台で適用されることはほとんどないという実態を認識する必要があります．そこには，技術基準が日本語で書かれているといったことだけでなく，その設計法が国際的に標準とされている体系と異なることにも留意すべきです．技術者にはBritish StandardであろうがAASHTOであろうが，いかなる基準にも対応して設計ができることが求められますが，設計体系の異なる基準でしか経験のない我が国の技術者が，簡単にそれらの基準を使

いこなすことは難しいのではないのでしょうか．また，プロジェクトエンジニアやプロジェクトマネージャーになると，設計から施工までを統括できる能力を備え，技術全般にわたって責任ある意見が求められます．

最後にCommunication能力の必要性についてですが，これは極めて大事なことです．特に英語を母国語とする欧米諸国で働く場合には，高度な英語力が要求されます．対等にCommunicateができ，高いレベルの文章作成能力が求められます．こういった能力が欠如していることは我が国の教育の問題でもありますが，実務者においては，普段の努力を継続することによって相当レベルまで身につけることができるものです．

“世界標準のコンサルタントを目指す”という私の主張は，我が国のコンサルタントの将来像として私が掲げているものです．世界標準のルールのもとで対等な競争ができる能力を備えたコンサルタントを目指すということです．ここには，コンサルタントの原点である中立的立場の保持，技術に対するプロ意識と責任を持つことが重要です．

近年，自動設計ツールに全面的に頼った設計が増えているようですが，基本をしっかり持って表計算程度で計算できる能力が必要です．我が国では効率化を追求するあまりに，設計者自らが理論式をもとに設計するといったことは少なくなっているようです．これは時代の要請でもあったのですが，技術力を保持するためには過度に設計ツールに走る傾向は避けるべきでしょう．やはり原点に立ち戻って設計することが技術者には求められるのではないでしょうか．

それから，「設計図面と技術仕様書（Specifications）は１つのパッケージ」ということについてですが，我が国では設計図面と技術仕様書は別の組織が作成しています．設計図面と技術仕様書とは本来一体不可分のものであるはずです．したがって，設計図面を描く技術者と要求仕様を作成する技術者が同一の組織に属することが望ましいわけです．それから，設計図面が最も重要な設計の成果であるにもかかわらず，我が国では合理化という名目で設計図面を外注する傾向があります．技術の最も大事なところは，物を造るために必要な図面を作成することにあると私は考えています．計算は図面に表された諸元を立証するためにあるもので，これを見て物が造られるわけではありません．ですから，コンサルタントが図面作成を内業でやれない状況にあるということは，「設計の結晶の部分」を外部に委託していることになるわけです．吊橋の理論および設計における世界的巨匠の一人であるDavid　Steinmann博士が描かれた設計図面を拝見すると，その緻密さと細かい配慮に感動を覚えます．設計図面の枚数は少ないのですが，設計者の意図がしっかり現れています．我が国ではCADによる大量の図面作成が行われていますが，これらは海外から見ると請負業者が作成する製作図の一部を担っているように思えます．全橋にわたって図面を展開することは製作図作成の中で実施すればよいことで，コンサルタントの作成する図面はそれらの作業が可能であるようにするというのが，現在も「海外の図面作成の基本」とされています．技術者の図面に対する能力が退化しないように，設計図面を自らが描くことが大切ではないでしょうか．

そして，コンサルタントも製作施工に対して精通しなければならないということです．我が国ではコンサルタントは製作施工にはかかわらないということになっていますが，海外ではコンサルタントは架設設計を実施することは当然ですし，架設計画も立案しなければなりません．しかし，我が国では冒頭に述べた業務執行システムの中の役割分担で施工業者が実施することとなっており，設計コンサルタントはかかわらないわけです．

ここで大切なことは，こういったことがすべてできること，すなわち技術者として果たすべき役割を実現するためには，技術に対する対価がきちっと支払われなくてはいけないということです．１つは，コンサルタント契約の範囲と内容の徹底であり，発注者と受注者の間でそれらに曖昧さをなくすことが必要であること．それから，もう１つはコスト意識を発注者と受注者の双方が持たなければならないということです．残業が蔓延化する我が国のコンサルタント業界は，発注者と受注者の契約意識やコスト意識の欠如にあるのではないかということです．私の海外での６年間の経験に残業ということはほとんどなく，労働管理ならびにコスト管理の両面から，残業は原則として許されない世界にありましたが，設計作業は計画どおりに進捗していました．そこには，コンサルタントの提出した実施計画をベースとして予算執行管理が行われており，コンサルタントという専門技術者が提供する技術に対する信頼を置いていることと，コンサルタントに責任を負わせる制度となっているからではないでしょうか．

次にグローバル化に対応するための国内戦略に対する提言です．１つ目は，我が国の標準が国際標準と相違していることが競争力の弊害となっているということです．競争力の原点は人であり，そのためには人材をどう育てるかに行き着くと私は考えます．人をどう育てるかというのは，結局はその人に任される内容，それから責任の問題であり，結局，国際間の競争において，同様な条件と責任を持って業務をした経験がなければ，海外の技術者と対等な立場で仕事をするのは難しいということです．

それから２つ目は，海外でも適用される技術基準を目指して作成してほしいということです．それから，海外で同等に評価される技術者資格である我が国の技術士やAPEC技術者とかが，海外で業務を実施するうえで優位に働くようにしなければ，国内だけに通用する飾りになってしまいます．国際間で相互認証が可能となるように国家間で合意を得るといった方向に向けて努力してほしいという期待です．

最後に，語学力の向上についてですが，国際的に低位にある語学力の向上の必要性が言われて久しいのですが，どうもこれは今の若い世代の技術者を見てもまだまだ不足していると言わざるをえません．そのためには必要性のほかに，それらを取得することに対するインセンティブを付与することを考えなければならないと思います．語学力は今も特別な人が持てばよいと考えられ，海外の業務に従事さ

れている技術者にあっても，欧米技術者と対等なレベルにある人は少ないと感じております．これはなぜかというのはご承知のとおり，我が国は日本語で高等教育を受けることができる有数の国にあり，海外に出なくても物資の調達ができるという日本の恵まれた環境がありますが，国際間の標準語である英語のレベルを高めてほしいということです．そういう方向に向かうようにするには何かインセンティブを付与しなければ，この状況はいつまで経っても変わりません．

あとがき

平成18年１月の帰国以来，国内および海外の業務にかかわっています．国内では設計照査の必要性が議論されている反面，そのために必要となる照査のための費用や時間についてはほとんど議論されていません．現在のコンサルタントへの委託費に必要な照査費が含まれているはずであるという建前論から脱していません．私のアメリカでの経験から言えば，照査のための費用や時間は十分に確保されていたし，それが設計作業の重要な部分として組み込まれていたから何の不思議も感じることなく設計照査を実施することができました．また，残業することが当たり前の我が国のコンサルタント業界に対して，６年間のアメリカでのコンサルタント生活で残業は緊急時を除いては数えるほどしか経験しませんでした．在宅勤務（必要性が認められた際には可）や時間差出勤も認められているなど，技術者の独立性の尊重と信頼感があるからです．こうした勤務時間不要による作業効率の向上および通勤費の削減効果を認められています．

さらには，設計照査が施工業者において実施される前提となってきたこれまでの方式から，コンサルタントの設計を最終設計とする方式に移行すると，コンサルタントの設計責任（Liability）と保険制度（Insurance），あわせて設計照査のあり方を根本的に見直さなければならないと考えます．その一つが今回のテーマの一つです．

コンサルタントが真に技術のブレーン集団として位置づけられるためには，コンサルタントの役割の抜本的見直しを行い，その立場の向上が必須であると考えます．コンサルタントの労働環境の改善も必要です．こうしたことを一つずつ実現することにより，有能な技術者が集う魅力ある職場が整っていく素地ができると思います．そして私の定義する世界標準のコンサルタントが生まれてくるのだと考えます．

国際化に対しては語学力の欠如を痛感します．ODAという枠の中での業務で相手先も英語が外国語であるので許容されているという側面もありますが，英語力向上は，海外のコンサルタントと対等に戦うには必須の条件です．FIDICという世界標準の契約書に基づいて業務を実施しながらも，既に述べてきたように世界標準とはおおよそ異なる日本流の業務の延長で実施されていること，ここに問題の本質があるようです．海外でのコンサルタントの真の姿を知ること，また，海外での実経験を積んだ技術者が増えること，これらが我が国において国際化が堅固なものとなるために是非とも必要だと思います．

〔参考文献〕

1）大橋：橋梁設計の照査にみる日米の相違とIndependent Checkの意義，橋梁と基礎（2005.3）
2）総合研究開発機構：NIRA研究報告書，「社会資本整備の透明性・効率性向上を目的とした3者構造執行形態導入の必要性に関する研究」（2002.7）

好評発売中

超長大橋時代の幕開け

――技術者達の新たな挑戦――

伊藤　學・川田　忠樹他　共著

第１章　より長くより遠く
第２章　長大吊橋の変遷
第３章　超長大吊橋への挑戦
第４章　強風と地震への取り組み
第５章　下部工の工夫
第６章　超長大橋の構想と計画

Ａ５判　本文290ページ　定価（本体3000円＋税）建設図書

（お申し込みは書店または直接弊社へ　Tel 03-3255-6684，Fax 03-3253-7967）