

(東京会場)

【Ⅱ 作用・荷重】

質問：示方書Ⅱに対して：「最新の知見」とは？よくわからなかった。明確にすべきと思う。はたして標準示方書といえる性格なのか疑問。「設計基準作成のための技術者指針」のような名称の方が良いと思いました。示方書としての必要性がわからない。

回答：後半のご質問（ご意見）から先にお答えします。

「示方書ではなく設計基準作成のための技術者指針」のような内容になっている、というご指摘だと受け止めましたが、まさにその通りだと思います。

では、土木学会が出す作用や荷重の「示方書」はどのようなものであるべきでしょうか。自重や風や地震について、設計で考慮すべき必要があるときに「この値を使いなさい」と示す内容が相応しいでしょうか。講習会の冒頭でもお話ししましたが、そういう内容は、道路橋示方書をはじめとして、構造物ごとの行政規格・協会基準（あるいは建築物であれば建築基準法）に、すでに十分提示されていると認識しています（この認識は、本示方書をどのようにするか、という議論の出発点でした）。そういうものを網羅的に集めてきて「事典を作る」ことは、しませんでした。学会活動として研究者が時間を割いて行う意味があるとも思えませんし、また、強制力のある法律や、それに準ずる行政規格では、「この値を使いなさい」と示すことは、暗に「設計荷重超過によって発生する構造物被害に対する設計者の免責」を含意しています。また学会基準はあくまで（示方書と名を冠していても）recommendationなのであって、行政規格の中で「これに従え」と書かれてはじめてspecificationになるのです。行政規格と学会基準でもし違うことが書かれていたら、どちらに従うべきかはほとんど明らかでありますし、仮に行政規格に足りないところがあって、それを学会基準で補おうとするならば、それはその行為者の自己責任となる、ということも明らかです。こうしたことを考えても、土木学会基準で「この値を使いなさい」という書き方をするのは適切でないと考えます。

その代りに示方書Ⅱ作成者が目指したものは、今ある基準の値が、「どのような性格づけのもので」「どういうデータにもとづいて」「どういう判断で運営されることを前提に」決められているかを示すものにしようということでした。研究レベルでのデータに近いものにアクセスできる態勢構築も目指していて（これは「作用指針」が主にその役割を担うつもりでした）、これがご質問前半の「最新の知見」に対する答えであるつもりです。

また、複数の行政規格・協会基準にまたがるようなケース（建築の性格も橋の性格もあるような場合など）で、荷重の考え方がそろっていない場合もあり、そういう状況で「間を埋める」考え方の提示ができるようなものが望ましいという考えもありました。2010年版では、こうした使われ方への対応の記述は十分でなく、関係資料の発展といった形で今後充実させたいと考えています。

講習会後に起こった「東日本大震災」を例にとって回答するのはフェアではないかも知れませんが、ああした災害事例は、作用に関したいろいろなことを考える機会となります。津波の扱いはどうしたらいいのか。まさに「最新の知見」ですね。既存の「この値を使いなさい」の羅列ではそれに応えていませんが、この示方書の体系はそういう議論にごく近いところにあると考えています。

作用・荷重に関する、こうした技術基準が土木学会に「必要」で、それが「示方書」として存在している、何ら「おかしくない」というのが回答者の見解でございます。

質問：設計時許容応力度の割り増し（荷重の組合せによる）がありますが，設計成果品の中を見ると荷重の割引で済ませているのがほとんどです（比較のために）設計者は発生応力のレベルを認識するのが先決であり計算処理（手抜きですませている），主旨を明確にすべきでは。

回答：示方書で扱っている内容とかかわらない部分も含むご質問かと考えますが，議論の価値ありと思い，回答させていただきます。

線形構造解析を前提とすれば（設計時許容応力度の概念を用いられているということは，そうですね），インプットとしての荷重とアウトプットの断面力や応力は比例関係にありますから，「S（作用効果）側の割引き」と「R（抵抗）側の割増し」は，どちらでやっても設計結果に影響はないこととなります。しかし，非線形性（材料，変位の影響など）が入ってくると，そうはいきませんので，やはり「妙な習慣」に慣れずに，「与えた条件に忠実にインプットする」ことを原則とすべきであろうと考えます。

ただ，「荷重の組合せに対する設計時許容応力度の割り増し」の多くは，本文 3.3 の記述に対応する形で「単独で設計値を考える場合に想定する極値」を複数の荷重の組合せでそのまま重ね合わせてしまうのは過大評価である，という配慮から行われているものでありますので，「荷重の割引をインプット条件とする」のは「与えた条件に忠実にインプットする」ことからは逸脱しません。もっとも，「許容応力度の割り増し」という方法自体，作用・荷重個々の特性を反映させる手間を省いて，便法的に各荷重一律に低減係数をかけるやり方ですので，いささか時代遅れであります。

一方，地震作用に対するものや，施工時の許容応力度の割り増しは，「設計状況（序文 2.，本文 3.2）の特殊性に応じた目標信頼度の低減」の意味ですから，荷重の割引を行うべきではありません。こうしたことを，設計者が，設計プロセスの中できちんと考えていっていただきたいというのは，本示方書作成者の強く希望するところです。

質問：荷重に対する今後の展望（例えば既設構造に対する維持管理）について教えていただきたい。

回答：展望というより希望に近いですが，モニター強化（センサーの発達と低価格化が後押ししてくれています）により，自ら当該構造物の状態や作用・荷重の実態を把握する態勢が強まっていくと考えられます。ご指摘の既設構造に対する維持管理は，その代表例といえるでしょう。得られたデータから情報を抽出するための確率統計的手法やそのソフトも着々と整備されていますし，本示方書や作用指針に書かれた内容が，そういう技術の確立にお役に立てるところがあれば，と願うものです。

質問：設計で用いる地震作用を設計者の責任において決めることにおいて，その責任の範囲は？地震はあくまで自然現象でありどんなに高度な手段を用いても実際に起こる地震とは異なる。その中で安全性照査用地震動として設定した地震動で構造物を設計し，震災を受け，人命が失われた場合，設計者は社会的（法的）な責任を負わされるのか？社会インフラの性能が設計者によってバラつきが出てよいのだろうか？

回答：これも「東日本大震災」を見た後に回答を作成するのは，重いご質問ですね。

しかし，これに対する回答「らしきもの」は，序文の 3. に記述したつもりであります。「法令等の遵守と付帯事項」としましたが，法（建築基準法や消防法がすぐ思い浮かびます）や行政規格が定め

た条件は「最低限保持すべき性能」でありますので、設計者の責任云々以前に、それは守らねばなりません。しかし法といえども、技術の進歩に同時的に追い付いているわけではありませんから、(state of the arts に照らして) 不足があれば設計者の責任で補わねばなりません。最低限の要求レベルを上回ってさえいれば「社会インフラの性能が設計者によってバラつきが出」ていけない理由は特にはないと思われま

す。多分ご質問の主旨は、その次に出てくる「仕様設計と性能設計」に対応する部分だと推察します。法などの規定が曖昧で、自由に条件を決めていいといわれたときにどうか、ということですね。これも基準はすべて state of the arts である「はず」です。「はず」だと書いたのは、こういう問題を土木の世界で十分に議論できていないことの反映です。これは「技術者倫理」と「事故調査」「失敗学(何か不都合があったときにそこから教訓をどう学ぶか)」を総合した「法工学」として議論すべきことなのです。土木の外側での法工学のロジックは、極力正確に事故原因の調査をして、そこにミスがないかどうかを判断すること。責任追及はそれに基づいて行う、ということ。で、「ミス」かどうかの判断基準は state of the arts なのです。結果が悪ければ仕事をした人間が全部責任を負うべきだ、ということではありません。こういう議論は皆で共有すべきですね。

これは患者に対して医師がどこまで責任を負うのか、という事例で考えればわかりやすいですね。手を尽くした結果患者が死んだら、「どこかにミスがあったはずだ」とお医者さんは必ず訴えられるのでしょうか。回答者はたまたま多少医療ミスの裁判のことを学んだ経験がありますが、結果として百点満点でないことであっても (state of the arts の習得が十全でなかったとしても) その医師の経験としてやむを得ない、という判断を裁判所がすることはごく普通にあります。

議論を耐震設計に戻すとすると、構造物が、その想定供用期間に経験する「可能性のある」地震(正確には終局限界状態に影響するような地震応答)の大きさは、確率変数として上側に裾を引いた確率分布のもとにあることとなります。そのどこかに「線を引いて」値を決める作業は誰かがやらねばなりません。ハザードを予測する作業は state of the arts をきちんと反映させてやらねばなりません。それと同時に、ここで線を引く、というのは「発注者と設計者の協議」できちんと合意しなければなりませんし、しかるべき審査機関で裏づけしてもらうことが望ましいといえます。設計計算書は保存し、必要なら情報公開すればよいでしょう。「この橋(など)はこういう条件で設計しています」と明示してもよい。「線を引く」作業のときに何を考えるか? 通常は「既存の同種の構造物に遜色ない性能(信頼性)を有している」「構造物の機能と予算に照らして、妥当な性能(信頼性)を有している」かどうか考えるのではないのでしょうか。これもひとつの state of the arts の反映といえます。

不幸にして、ご質問のように、「震災を受け、人命が失われた」ケースが出てきたとします。責任が問われる余地はいろいろありましょ

う。まずは原因調査。「設計地震動以下の地震で壊れた」なら、設計者より施工に瑕疵があった可能性がありますし、老朽化がかかわっていれば管理者の責任かも知れません。「ハザードを予測する作業が間違っていた」なら、設計者のミスです。責任を問われるかも知れません。医師の診察ミスと同じ。「線を引いた値より強い地震が起こってしまった」なら、その線の引き方の妥当性(設計者と発注者・審査機関の共同責任)が問われるかも知れませんが、基本は「これはこういうものとして設計した」というしかありません。「構造物の機能と予算に照らして、妥当」という設計時の判断は、避けることのできないものだからです。「想定外」というのは、こういう場合に、裏付けをもって主張すべき技術用語であると考えます。

「東日本大震災」以後になされた「想定外」論議の中には、回答者の目からはいささかナイーブに過ぎる印象のあるものもあります。技術哲学の潮流として、かつて「技術者」「医師」「パイロット」

などの専門職業人は、「自分たちだけが専門知識をもっていて、一般人はその指導に従えばいいのだ」と考えていた時代があります。こういう考え方を「マスター（主人）シップ」といいます。今日ではそれが変化して「専門家は一般人と協力してよりよい結果を目指す存在だ」と考えるようになりつつあります。これを「スチュワード（執事）シップ」といいます。京都議定書 1997 の文言にも「スチュワードシップ」が盛り込まれていて、環境庁の官僚がその意味を知らずに慌てたというエピソードもあります。CO2 削減など、技術屋だけがどんなに旗を振っても実現しませんね。医師と患者の関係で患者の側からセカンドオピニオンを求める、といったこともスチュワードシップの現れです。「構造物の安全性はすべて技術者の責任で、問題があれば皆自分たちが負うべきだ」というのは、一時代前のマスターシップであります。「技術屋は state of the arts を踏まえて最善を尽くしますが、それでも安全には限界があることを理解して受け入れて下さいね」ときちんと言えようとするのが設計のスチュワードシップです。我々の周囲も少しずつ変化（成熟）しているものであり、技術屋も頭を切り替える時代ではないか、と回答者は考えるものです。

質問：作用・組合せの考え方…上床，側壁で係数が異なる理由 実例を交えて係数をどう設定しているのか 教えて頂ければ

回答：ご指摘の事例がよくわからないので、理由の説明は困難です（本示方書に含まれた内容のご質問だとお答えしやすいのですが）、一般論としてのお答えでよければ、考えの及ぶことを書かせていただきます。本示方書の 1.3（特に図 1.1）で作用因子—作用（モデル）—作用効果の関係について説明しています。構造物にはたらく外的要因としての作用因子（活荷重などなら当該上載物の重量，風などならその風速）は上床，側壁といった「構造要素部位」ごとに違いはありませんが、それぞれかかり方も違えば支点までの力の伝達に果たす役割も違えば応答も違う、といったように作用効果はまちまちです。係数をどうするか、というのは作用のレベルでの設計条件を規定することですが、これは「作用効果の側の事情」を反映させて決まるのだ、というのが 1.3 の主旨です。作用組合せに対して係数をいろいろ決める「ケーススタディ」は、研究のレベルでは「組合せ作用効果の目標信頼度の達成レベルを均一化させる」ような方法論でいくつか実施されていますし、3 章各節（と作用指針）にあるように「極大値どうしは組合わせない」「極大値と頻出値を組合わせる」といった便法のために考えられているケースもあります。もしかしたら、ご質問のケースはもう少し「経験的に決めた便法」かも知れません。その場合でも、部位ごとに「より支配的な作用に大きめの係数をかけて組合せを考える」とか「作用の値が小さいことが危険側にはたらくケースも考えて、大きい係数と小さい係数の両方を考えてみる」といったことがなされる場合もあります。「より支配的な作用に大きめの係数をかけ」てみる、といった操作は、結局のところ最初に述べた「作用効果の側の事情」を反映させて作用の設計条件を決めている内容に他なりません。こういう説明で思い当たられることはないでしょうか。

「実例を交えて」というのは、いささかこの形での回答には荷が重いですが、ご質問の主旨は同感であり、本示方書から派生する解説の参考書類の中に、作用係数の決め方の事例集があることは有益であると考えています。是非今後の課題として前向きに取込ませて下さい。

質問：「作用荷重」の用語とした理由を知りたい。整合性がとれていないと感じる

回答：理由については、1.3 の解説と、1.5 の用語の定義をご覧いただければと思います。整合性がとれていないというご指摘は、相手が何であるかがわからないのでお答えのしようがないのですが、本示方

書の中では原則「作用」で、既存基準類との関連づけなどのために補助的に「荷重」を使うことで一貫しています。示方書Ⅰと、でしょうか？Ⅱでそういう用語の使い方をしていることは、相互に情報交換をして、出来るだけ合せていただくようにしているのですが、ISO等の国際標準では作用 actions が通常用語ですので、整合していると思います。

【Ⅱ-付録：ボックスカルバートにおける作用・荷重の設定例】

質問：ボックスカルバートで地震作用を考慮しなくてよい構造寸法又は規模は設定可能ですか。またその設計手順を教えてください。

回答：構造寸法及び規模で“地震作用を考慮しなくてよい”という閾値の設定は困難だと考えます。対象となるボックスカルバートの重要度で耐震設計の有無を議論するのが妥当ではないでしょうか。

質問：ボックスカルバートの講義の中で示されたマトリックスをもう一度みたいが、公開してもらえますか（学会HP等）

回答：講習会において性能マトリックスのイメージを掴んでいただくために用意したものです。設計する上での根拠にはならないと思いますが、参考として以下に掲載します。

[付録]D ボックスカルバート

性能マトリックスの一例

	機能維持 有害な残留変形 が生じない	早期回復 有害な変形が 生じない	人的被害なし 倒壊しない
レベル1地震動 再現期間31年 (頻繁に生じる地震)	●	○	○
レベル2L地震動 再現期間308年 (稀に生じる地震)	□	● 標準	○
レベル2H地震動 再現期間975年 (極めて稀な地震動)	極めて重要 ☆	□ 重要	●

2010年制定 土木構造物共通示方書Ⅱ

質問：ボックスカルバートの地震作用を解析できる設計ソフト名を紹介してほしい（ソフト名・メーカー名など）

回答：市販の模擬地震動作成プログラムを調査したところ「ARTEQ for Windows：模擬地震波作成プログラム」（構造計画研究所）というプログラムがあるようです。これは、同じメーカーから販売されている応答スペクトル作成プログラム SeleS for Windows および地盤応答解析プログラム k-SHAKE+ for Windows とセットで利用することにより、断層モデルから解析用入力地震動まで一連の解析ができるようです。また、目標応答スペクトルが設定されている場合には「模擬地震波作成プログラム BUILD.WAVE2000」（㈱構造ソフト）等でも解析することができます（BUILD.WAVE2000の場合には BUILD.地盤・柱状/地盤応答とセットで使用）。

質問：ボックスカルバートの配筋例を記述してほしい。カルバートに地震設計が導入されたために配筋例の

フックが必要かなどが知りたかった。また今後プレキャストボックスの照査方法なども教えてほしい。

回答：示方書Ⅱ（作用・荷重）付録では作用を中心として記述したものであり配筋及び照査方法の詳細については他の規準等を参照してください。なお、配力筋のフックの必要性についてですが、断面方向で地震力に抵抗するような設計を実施した場合、配力筋にフックは必要ないと考えます。もし配力筋にフックを設ける場合には、部材厚による制約、止水板との干渉等、施工を踏まえた配慮が必要です。

【Ⅱ-付録：橋梁上部構造における作用・荷重の設定例】

質問：橋梁上部構造について、設計供用期間の中の1つである経済的供用期間があり、減価償却資産としての経済的な寿命とは具体的にどのように算定するのでしょうか？例えば通行した車の台数を金額に置き換えるとか、橋が出来たことによる経済効果の額が原価を上回ったときに償却したと判断させるのでしょうか？

回答：『減価償却資産の耐用年数等に関する省令』の別表第一 機械及び装置以外の有形減価償却資産の耐用年数表によれば、橋梁の耐用年数はRC造で50年、鉄構造で40年、その他は15年とされています。また、近年、費用便益を考える上では、橋梁に関する評価の対象期間を50年とする動きがあります。よって、一般的に経済的な寿命を考えるにあたっては、これらがひとつの指標になると考えられます。しかし、本書でも示したとおり、減価償却が終了した橋梁を、その価値がなくなったとして架替えの対象とすることはまずありません。橋梁の持つ価値とは、求められる機能を発揮し続ける限り、発生するものであるからです。

（大阪会場）

【Ⅱ-付録：ボックスカルバートにおける作用・荷重の設定例】

質問：示方書Ⅱ付録Dにおいて、「修復性」→「復旧性」、「レベル1地震動」→「使用性照査用地震動」、「レベル2地震動」→「安全性照査用地震動」では？

回答：・修復性→復旧性

本示方書では、「地震の影響等により構造物の性能低下が生じた場合の、性能回復の容易性を示す性能」を“復旧性”と呼んでいます。付録Dにおける“修復性”はまさに“復旧性”の意味で用いており、“修復性”を“復旧性”と読み替えてください。

・レベル1地震動→使用性照査用地震動、レベル2地震動→安全性照査用地震動

付録Dでは準拠した規準で用いているレベル1地震動およびレベル2地震動という概念に従って記述しています。内容的には、レベル1地震動を使用性照査用動と、レベル2地震動を安全性照査用地震動と“ほぼ同義である”と捉えてください。