

## 受講者からの質問に対する回答（入門編：2011年7月27日）

■311 地震を反映した設計指針が公表されるのは何時ごろになる予定なのか。

【回答】中村

(公社)土木学会内の地震工学委員会に設けられた耐震基準小委員会は、1995年兵庫県南部地震の震災に対する学会の提言などを踏まえ、2001年9月に土木建造物の耐震設計ガイドライン(案)を発行致しました。また、学会提言のうち第3次提言で示された課題であるレベル1地震動の見直しの考え方を平成20年8月に経済性照査ワーキング活動報告書として公開しました。その後、設計地震動を越えるような地震が新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、岩手宮城内陸地震と立て続けて発生し、2011年3月11日に地震規模もさることながら、巨大な津波による甚大な被害が生じました。耐震基準小委員会では、前述のガイドライン(案)以降の成果や最近の地震より抽出された課題を踏まえ、土木建造物の地震安全を確保するための考え方を明確に示すため耐震設計法の基本検討WGを設置しました。これから1年から1年半かけて議論を行い、その成果を「土木建造物の地震安全の考え方」としてとりまとめる予定です。

■レベル1地震動について、経済性照査をするとのことですが、地震時の修復コスト+損傷に伴う損失コストなど、LCCが最小となる形式を選択するとの説明を受けました。レベル1地震動は無被害であることが要求性能であるため、「修復コスト」や「損傷に伴う損失コスト」は無いものと認識しています。この当たりが整理できません。

【回答】中村

講習会の際の報告内容は土木学会のホームページ\*で公開されている平成20年8月に発行された経済性照査ワーキング活動報告書に示されているとおりであり、詳細は報告書を参照してください。

現行指針におけるレベル1地震動は、1995年以前の指針や基準類で用いられてきた地震動が用いられております。その地震動は、一般に「供用期間に1から2回発生する地震動」という発生頻度と、弾性限界として使用限界を評価するために設定されておりました。まず、発生頻度についてみると、定義によれば地震動の再現期間は数十年から50年程度であり、一般にレベル2地震動として取り扱われる宮城県沖を震源とする地震のように33年程度を再現期間とする地震に対する地震動の関係と矛盾するという課題を有しています。また、レベル1地震動の評価対象となる性能は、地震後の復旧性を含む使用性を評価するという視点がISOなどの国際規格で取り入れられています。これらのことから、レベル1地震動は弾性限界の評価という考え方から、地震前後の建造物の機能が経済的に維持できる、例えば橋梁が軽微な損傷したとしても、緊急車両のみを通過させて、建造物の修復や交通規制などによる経済損失と初期コストとのバランスに基づいた経済性により評価するという考え方に変えようとするものです。

\*<http://www.jsce.or.jp/committee/eec2/taishin/keizaisei-wg/keizaisei-wg-report.pdf>

■刺激係数によって卓越する振動モードの判断ができるという話だったが、値の目安（7割以上など）があるのか。それが示されている指針などはあるのか。

【回答】室野

特に決まりがある訳ではありませんので、個別に判断をして頂くことになります。

■等価線形化解析を用いずに最初から FEM 解析をやればよいのでは？と思うのですが、計算手間にそれほどの差があるのでしょうか。

【回答】福武

等価線形化解析は線形解析なので、波動方程式を直接解くことができます。すなわち FFT を利用して周波数領域で解きます。さらに 1 次元の場合（水平成層地盤の場合）は重複反射理論が適用できるので、解析解が求まります（FEM メッシュを使いません）。よって、上昇波(E)と下降波(F)を別々に求めることができたり、地表の波から基盤の波を求めることもできます（デコンボリューション）。ということで重複反射理論による等価線形化解析では FEM は必要ありません。FEM 解析が必要となるのは、不整形地盤や杭や基礎を含む複雑な形状をした形の解析や、非線形解析です。非線形解析の場合は細かい時間刻みで時間軸方向に Step by Step で時々刻々解く（Newmark  $\beta$  法など）しか方法は無く、波動方程式を直接解くことはできません。よって、上昇波と下降波を別々に求めるはできませんし、デコンボリューションもできません。さらに収斂計算も必要になります。したがってこの方法は周波数領域の解析よりも時間がかかります。

等価線形化解析であっても、2次元や3次元の場合はメッシュを用いた FEM 解析となります。この場合、地盤剛性と求めたい振動数に応じてメッシュサイズを考慮しなければなりません（配布した PPT や吉見先生の本：地盤液状化の物理と評価・解析技術の 6 章を参照）。また境界条件の処理方法も考慮する必要があります。よって FEM 解析はモデル作成の手間も増えます。すなわち水平成層地盤で、地盤のひずみが 1%以下であれば、1次元の等価線形化解析(プログラム:SHAKE)の方が簡便です。さらに SHAKE では地表の波形から基盤の波形を求めることができます。もっと一般的に言えば、解析解は求まるので入射波と反射波を分離することができ、任意の点から他の任意の点の波形を求めることができます。

#### 4 章

■ $G_0$  設定のための PS 検層について：適用可能な地盤について教えてください。例えば岩盤などでも行うことはできるのでしょうか。あるいは岩盤であれば弾性波探査が適当でしょうか。使い分けの目安があれば教えてください。

【回答】福武

PS 検層は、ボーリング孔を用いて地盤を伝搬する波の速度値を求めるものですから、ボー

リング孔さえ掘ることができれば軟弱地盤から岩盤まで適用できます。弾性波探査の主流は屈折法です。測定法は地表で人工的に発生させた弾性波が地盤を屈折して水平方向に伝播することを利用して、地表の受信機で地盤の弾性波速度構造を求める方法です。よってボーリング孔を掘る必要はないです。この方法は元来資源探鉱を目的とし深層探査として用いられることが多かったが、最近では浅層部やトンネル掘削時の切羽前方の状況把握や山岳トンネル地質の事前調査にも用いられています。この方法は 2 層構造の地層が基本ですが、凹凸のある地層や複雑な多層構造の地盤では精度が悪くなります。特に地表付近では埋め土などの分布が不規則であり注意が必要です。また地表から深部への P 波や S 波を知るには地表から地下へ順次速度値が大きくなる場合を想定しており、上層よりも下層に遅い速度層がある場合の検出が困難なこと、さらに速度分布を知ろうとする深さの約 5 倍の最大受信距離を必要とし、深く知ろうとするほど距離の増加と発信エネルギーの増大が必要になります。そのうえ表面波はその他のノイズを除去することは、屈折法による地表観測では困難です。このようなことから地表の軟弱層から深い地層（工学基盤）までの弾性定数を設定する場合は、PS 検層の方がよく用いられます。

■弾性波探査の結果は速度帯として○～○m/s 層といった表現が一般的と思いますが、 $G_0$  を算出する際に実務上はどの値を用いるのがよいでしょうか（下限、上限、平均など）。

【回答】 福武

平均値を使うのが一般的ですが、表層に亀裂などがある場合には波の伝播経路を検討するなどの注意が必要です。

### 3 章

■建築では水平保有体力は、短期許容応力度を 1.1 倍した値をとることができる、との記述があります。この 1.1 はどういう意味を持っているのかお教え頂きたいと思います。

【回答】 青地

「水平保有体力は、短期許容応力度を 1.1 倍した値をとることができる」ではなく、「水平保有耐力算出時に用いる鋼材の降伏強度を 1.1 倍してよい」という質問ではないでしょうか？ これは、JIS 鋼材の場合、実際の降伏強度が規格に定める下限値よりも 1.1 から 1.2 倍ほど大きくなっているという統計データに基づくものです。

■橋架等で水中に作る必要のあるピア、アバットについて、水圧の影響（動水圧）の扱いはどのようになるのでしょうか（静的、保耐、動解において）。一般的な扱い方を教えてください。

【回答】 青地

ダムなどの波圧を考慮する必要のない耐水箇所に橋脚を設置する場合、静的解析では、動水圧として考えることが一般的です。動水圧は水平力として水圧の影響を考慮するもので

す。動水圧の考え方は道路橋示方書 V p69～に記載があります。

レベル 2 地震動のように大きな地震動を考慮する場合は、道路橋示方書 V p69～に記載があるように、地震時動水圧の影響を付加質点モデルにて解析する手法があります。

■レベル 2 地震に対して、靱性設計法で部材損傷を弾性範囲内に抑えるように設計する場合、ひび割れ幅をコントロール(把握)する手法（設計法）はありますか。

【回答】青地

ひび割れ幅をコントロールする設計としては PRC の設計などがありますが、あくまで弾性範囲内です。レベル 2 のように、部材が塑性化した場合は、剛性が低下し一気に変位が増えるので、細かなひび割れ管理はできないでしょう。そもそもレベル 2 地震動はかぶりのはがれるぐらいに損傷しながらエネルギー吸収することを考えているので、ひびわれコントロールという概念が適応できないかもしれません。また、ひび割れが小さい範囲で済む部材であれば、FEM 解析にてひび割れを把握することができる場合があります。