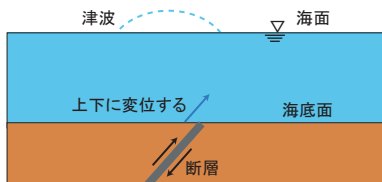


津波解析

(Up&Coming '08
秋の号掲載)

■津波の発生メカニズム

海底面を震源とする地震が発生した場合に、海底地盤が隆起もしくは沈降運動が起こります。この地殻変動が起きることによって、その直上の海面が上下に変動し、大きな波となって伝播するものが津波となります。この波は、深い場所では時速700kmものスピードで伝播し、浅くなると遅くさめますが、同時に波高を増し、破壊力を増加させます。津波警報が発令されると、被害を避けるために、港に停泊している船舶は沖合に避難しています(沖だし)。これは、津波が沖合では海が深く大きな潮のように感じるのみで津波エネルギーが小さいためであります。



▲図-1 津波の発生イメージ図

「津波」の語源の由来は、沖合を航行する船舶の被害が少ないのに対して、「津」「港のこと」では被害が大きくなることとあります。現在、津波という用語は英語の表記においても、「tsunami」と表現されています。津波の速度は、水深に重力加速度を掛けて平方根を取って得られます($v=\sqrt{gd}$)。ここで、水深が4,000mと仮定すると、津波の速度が約720km/h(200m/s)となります。これは、ジェット機なみの速さです。

■津波予報の現状

日本では、1952年に津波予報が整備され、幾多の津波災害を経験して、1999年4月より「量的津波予報」に移行しています。この「量的津波予報」は、現在では地震発生後数分で、ほぼ都道府県ごとに、沿岸での予想される津波の高さを具体的な数字で表しています。

最先端の津波予報システムを運用する日本ですが、このシステムには、現在、2つの課題があると考えられています。一つは、津波の波源となる断層を日本近海に4,000箇所仮定した限定されたデータベース検索となっているため、その位置や面積などの初期値に誤差が含まれているという課題であり、もう一つは、日本全国を対象とした広域性および情報の早期発信という迅速性を重視しているため、地域ごとの詳細な情報提供が乏しいという課題であります。

■東北大学 今村文彦研究室の研究内容 1)

東北大学工学研究科附属災害制御研究センター・今村研究室では、津波に関する総合的な減災に関する研究をしております。今村研究室の研究内容等は以下の通りです。

研究内容: 災害(被害)は、自然現象(外力)と人間社会の営みとの干渉によって発生します。災害の様相も、人間活動の様式の変化に伴い、進化していきます。これからの災害対策は、過去の災害事例に基づいたものだけでなく、社会の発展と変貌する災害過程を予測し、地域の発展と脆弱性に適じたきめ細かなものであるべきです。

津波工学研究室では、工学的な立場から津波を研究する世界で唯一の研究機関です。災害対策・制御の理念を基盤として、国内外の現地調査研究、高精度津波数値予測システムの開発、津波堆積物調査解析、地域の津波災害対策支援を主とした研究を行っています。

特に、津波の解析技術は世界の津波被害の予想される国への国際的な技術移転の対象となっており、TIME(Tsunami Inundation Modeling Exchange)プロジェクトはその中核として位置づけられています。今村研究室の津波解析コードは、これまで世界22カ国41機関(平成20年4月現在)に技術移転され、津波災害の軽減に役立っています。

活動目標: 津波工学研究室では、以下を活動目標として、研究の実施、学生の研究指導、社会貢献を行ってまいります。

- ・津波研究のフロントランナーとしての学術面での先導的役割を担う
- ・国内外の津波対策推進に貢献する
- ・宮城県沖地震、津波災害の被害軽減に資する研究活動・社会活動を積極的に実施する
- ・地域の防災力向上を目指した教育を地域で展開する

■今村研究室の津波解析コードの連携

東北大学の今村研究室で開発された津波解析コードを用いて、解析支援サービス等やUC-win/Roadとの連携を行っていく予定です。この津波解析コードを用いれば、ハザードマップの作成や津波に関する避難予測等にも適用可能です。今後の計画は、以下のようであります。津波解析の解析支援サービスUC-win/Roadの地形・建物・樹木等の基本情報をRoadデータから連携して取り込むことにより、入力省力化を図ります。また、解析コードの計算結果をUC-win/Roadに取り込んで可視化致します。

■津波解析 2)

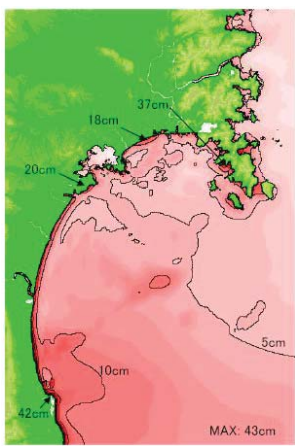
概要: 今村研究室における津波の数値計算には、浅水理論の差分法が用いられています。

津波解析は、将来発生し得る津波について陸域の浸水範囲や浸水深さを予測する遡上シミュレーションを行っております。この計算により、構造物への波力の評価や漂流物の運搬、各メッシュ点における波の高さおよび速度を計算して津波高さ分布図等を作成します。なお、海底地形情報(デジタル水深データ)については、海上保安庁などより公開されている資料があります。

入力条件等: 入力する条件等としては、震源情報(マグニチュード、震源深さ、位置などの断層のパラメータ)・海底地形データ(深さ、位置)・陸上地形情報等があります。

解析結果例: 2008年7月19日に発生した福島県沖地震での計算結果の一例を紹介します。仙台湾の中央部で大きな水位増加がみられます。仙台湾の沿岸で反射した津波が中央部で集中した結果です。地震の規模は、M=6.6、震源深さ10km程度

この研究成果では、気象庁の予想到達時間よりも20分ほど遅れた結果となっていますが、観測結果とはほぼ一致した結果となっていると記載されています。



▲図-2.最高水位分布例 2)

参考資料: 1) <http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/index.html>
2) <http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/20080719Fukushima.pdf>

河川構造物の耐震性能照査指針

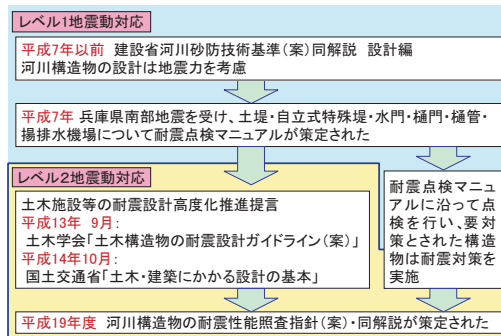
(Up&Coming '09
新春特別号掲載)

河川構造物の耐震設計は、従来、建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編に基づいて実施されてきました。平成7年兵庫県南部地震を契機として、河川構造物の耐震点検・対策が進められ、耐震性の向上が図られています。平成19年3月に耐震性能照査指針が公表され、河川構造物の耐震設計手法が大きく変わっております。この概要を紹介いたします。

■河川構造物の耐震性能照査指針の概要

中央防災会議において東海地震や東南海・南海地震等の大規模地震に関する新たな検討結果が公表され、「土木構造物の耐震設計ガイドライン(案)」や「土木・建築にかかる設計の基本」では、設計地震動や耐震性能照査方法等の新たな知見が示されています。

このような背景を踏まえ、従来からの設計震度相当の地震動に加え、将来的に考えられる最大級の強さを持つ地震動に対する耐震性能照査が、規定されています。震度法による従来設計法は構造物が弾性範囲内にとどまり、損傷の発生を全く認めないことを前提としますが、レベル2地震動ではある程度の損傷を許容する方が合理的であると考えられ、一定の損傷の発生を許容しています。



▲図-1 河川構造物の耐震対策経緯フロー

河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説(平成19年3月)は、下記の内容となっています。

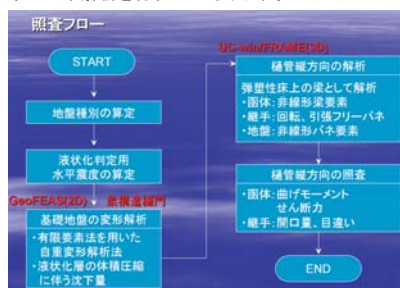
I. 共通編	耐震性能の照査の基本方針・荷重等の各編に共通する事項
II. 堤防編	盛土による堤防の耐震性能の照査
III. 自立式構造物の特殊堤編	自立式構造物の特殊堤の耐震性能の照査
IV. 水門・樋門及び堰編	水門・樋門及び堰の耐震性能の照査
V. 揚排水機場編	揚排水機場の耐震性能の照査

■門柱方向の照査手法

地震時保有水平耐力法は、変形性能・エネルギー吸収を考慮して静的に耐震性能の照査を行う方法であります。これは、レベル2地震動のような大規模地震に対して損傷を全く許容しないのは不合理であり、所定の性能を満足する範囲で損傷を許容するという考えに基づいています。

■柔構造樋門の縦方向における照査手法

柔構造樋門の縦方向における照査内容は、「函渠縦断方向の変位を静的に算定し、原則として函体に生じる曲げモーメントおよびせん断力が、それぞれ、終局曲げモーメントおよびせん断耐力以下であるとともに、継手を有する場合には継手の変位が許容変位以下であることを照査する」となっております。具体的には、液状化判定を行い、基礎地盤における有限要素法を用いた自重変形解析と液状化層の体積圧縮に伴う沈下量を算定します。その沈下量を用いて、弾塑性床土上の梁解析を行うこととなります。

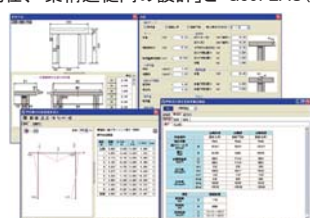


▲図-2 縦断方向における設計フロー

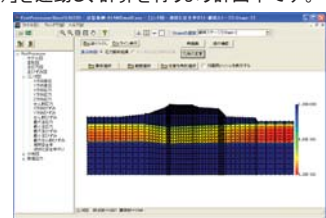
■UC-1製品の適用性

河川構造物の設計は、「柔構造樋門設計の手引き(平成10年11月)(財)国土技術研究センター」を主たる適用基準とした柔構造樋門本体の縦方向・門柱・胸壁・翼壁・しゃ水工の計算を支援する「柔構造樋門の設計Ver.3」にて計算可能です。

耐震設計において、水門・堰における設計では「柔構造樋門の設計Ver.3」を使用し、樋門の縦断方向では、地盤解析ソフトである「GeoFEAS(2D)Ver.2」および3次元骨組解析ソフトである「FRAME(3D)Ver.3」および「柔構造樋門の設計Ver.3」を組み合わせて計算が行えます。現在、「柔構造樋門の設計」と「GeoFEAS(2D)」を連動し、計算を行うよう計画中です。



▲図-3 柔構造樋門入力画面



▲図-4 GeoFEAS(2D)のFL分布図

参考資料: 河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説、平成19年3月、国土交通省河川局治水課
地震時保有水平耐力法に基づく水門・堰の耐震性能照査に関する計算例 平成20年3月、土木研究所資料

杭基礎の設計 建築と土木の違いは？

(Up&Coming '09 早春の号掲載)

■土木と建築の境目

土木と建築は、一般の人にはほとんど区別されていないと思います。実際には、土木と建築を合わせて「建設」と呼んでいる場合もありますが、これらの事業に携わっている技術者たちは、両者を違うものと考えています。違いを簡単に述べると、地面の下が土木で、地面の上が建築の領域と言われています。

土木の仕事は、山・森林・川・海等の自然を相手にして人間が使いやすく改造する作業です。土木工事としては、橋や高架道路・ダム・トンネル・道路・宅地造成等が該当します。一方、建築の仕事は、土木が構築した人工の環境に、人々が安全で快適に利用出来る空間を作ることです。建築工事としては、ビルやマンション・戸建て住宅等が該当します。

杭基礎については、地面より下にありますが、土木基準で設計する基礎杭(主に橋や高架道路)と建築基準で設計する基礎杭(主にビルやマンション)があります。ここでは、杭基礎設計に関する土木と建築の違いについて紹介します。

■地震作用に対する修復限界状態

土木分野の とらえ方	土木分野においては、地震発生後に土木構造物(社会基盤)の持つ機能を短期間に回復でき、継続的な使用ができる状態に着目する。 例えば、コンクリート標準示方書では「地震後に機能が短期間で回復でき、補強を必要としない」と規定されている。
建築分野の とらえ方	建築分野においては、地震後に補修した場合に、財産としての価値を失わない経費内で補修ができる状態に着目する。 地震後に、「崩壊は免れたが取り壊して新たに建て替えなければならぬ建築物」が、非常に多く発生する状況を回避する意味がある。 機能損傷の修復という点では、非構造部材および仕上げ材を考える必要がある。

我が国では、構造物設計における技術基準を、土木・建築構造物あるいは鋼構造・コンクリート構造・基礎構造という、構造物ごとに特化した技術基準類が策定されています。各構造物の最適設計を行うという面では非常に優れておりますが、各技術基準間や国際技術標準との整合性の問題を指摘する声が多くなってきています。そこで、国土交通省では、平成14年3月に「土木・建築に係る設計の基本」を策定しております。その中で、地震作用に対する土木および建築の分野において、上記の捉え方が示されています。

■杭基礎の検討項目

以下に、道路橋示方書・同解説と建築基礎構造設計指針との違いについて解説します。

○建築基礎構造設計指針

- ・杭の鉛直支持力、引抜き抵抗力、水平抵抗力 ・地盤変位を考慮した耐震設計
- ・杭基礎の即時沈下、圧密沈下 ・基礎の変形角・傾斜角
- ・杭体(圧縮、曲げ、せん断)耐力、杭頭接合部耐力

○道路橋示方書・同解説

- ・杭頭反力 \leq 許容支持力、水平変位 \leq 許容変位、杭体応力度 \leq 許容応力度(常時、L1地震時)
 - ・基礎降伏判定、杭体せん断力 \leq せん断耐力、フーチング断面力 \leq せん断耐力(L2地震時)
- 上記の検討項目について各基準で照査を行うが、建築基礎構造設計指針では終局限界状態・損傷限界状態・使用限界状態における性能評価を行っているのに対して、道路橋示方書では許容応力度法と地震時保有水平耐力法により性能評価を行っています。

■極限先端支持力の算定手法

極限先端支持力は、杭先端の極限支持力と周囲摩擦力度の合計で表されています。これについては、建築と土木による違いはありませんが、杭先端の極限支持力度における評価法が異なっております。以下に、各基準における杭先端の極限支持力度の算定法を示します。

▼表2 杭先端の極限支持力度の算定法

(a) 建築基礎構造設計指針

	極限先端支持力度
打込み杭	砂質土: $q_p = 300N$ / 粘性土: $q_p = 6 \cdot C_u$, $q_p = 0.7 \cdot q_c$, 上限値 $q_p = 18,000kN/m^2$
場所打ち コンクリート杭	砂質土: $q_p = 100N$ / 粘性土: $q_p = 6 \cdot C_u$, 上限値 $q_p = 7,500kN/m^2$
埋込み杭	砂質土: $q_p = 200N$ / 粘性土: $q_p = 6 \cdot C_u$, 上限値 $q_p = 12,000kN/m^2$

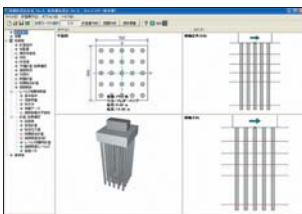
ここで、建築基礎構造設計指針のN値は、打込み杭において、杭先端から下に1d、上に4d間の平均N値(d:杭径)。場所打ち杭・埋込み杭において、杭先端から下に1d、上に1d間の平均N値。

(b) 道路橋示方書

施工法	地盤種類	杭先端の極限支持力度(kN/m ²)
打込み杭工法(打撃工法、パイロハンマ工法)	砂れき、砂層	300(L/D \geq 5)
	および粘性土層	60(L/D)・N(L/D<5)
中掘り杭工法	砂層	150N(\leq 7,500)
	砂れき層	200N(\leq 10,000)
プレボーリング杭工法	砂層	150N(\leq 7,500)
	砂れき層	200N(\leq 10,000)
鋼管ソイルセメント杭工法	砂層	150N(\leq 7,500)
	砂れき層	200N(\leq 10,000)
場所打ち杭工法	砂れき層および砂層(N \geq 30)	3000
	良質な砂れき層(N \geq 50)	5000
	硬質粘性土層	3q _u q _u :一軸圧縮強度(kN/m ²)

■当社製品の適用

当社の製品においては、基礎の設計計算Ver.7・杭基礎の設計Ver.7で土木基準における計算が可能です。また、建築杭基礎オプションで建築基準が計算可能です。



▲図1 杭基礎の設計



▲図2 建築杭基礎オプション

参考資料: 土木・建築の設計の基本、国土交通省 平成14年3月
http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusa3/J/events/20080719Fukushima.pdf

パッケージソフトを活用した設計演習

(Up&Coming '09 新緑の号掲載)

東京都市大学(旧:武蔵工業大学) 総合研究所 教授/吉川弘道

工学部都市工学科 准教授/栗原哲彦 客員研究員/青戸拓紀

東京都市大学(旧:武蔵工業大学)工学部都市工学科では、鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計計算を効率的に短期間で習得させるために、市販のパッケージソフトを活用しています。教育現場での商用パッケージソフトの効果的な活用についてご紹介します。

■授業概要

本学科では、鉄筋コンクリート工学や設計に関する演習科目として、3年次に「都市基盤施設設計演習」を設けています。これは、90分×2コマの授業を14週実施し、そのうち10週にて鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計を演習します。我々3名の教員スタッフに加え、当研究室の4年生ならびに修士1年の学生TA(Teaching Assistant)を4名つけているのが特徴です。

設計対象は、鉄筋コンクリート製T型単柱式橋脚(図1)で、道路橋示方書に準じた耐震設計計算を行います。その中で、(株)フォーラムエイトの橋脚の設計(1ライセンス)、UC-win/Section(6ライセンス)、モバイルUC-1(各自の携帯電話)を活用しました。使用するツールが、全員に行きわたらないことがポイントです。

■実施課題

右のように、3つの課題を順次与え、各課題についてレポートを提出させました。全体の構造寸法は共通とし、断面寸法、材料強度、鉄筋径を、受講生ごとに異なる組み合わせを設計条件として与えました。

課題1は、まず、断面を設計します。鉄筋の間隔、かぶり寸法、鉄筋の長さ

に悩みながら、断面配筋図・加工図を作成します。そして、「UC-win/Section」を利用してM-φ関係の計算を行います(図2)。ソフトウェアは6本しかありませんが、まずは、教員とTAが一組目を教え(写真1)、その学生が次の学生に、そしてその学生がまた次の学生に、と順次教えていきます(写真2)。時間にして90分×2コマあれば、受講生60名全員の作業がほぼ完了します。

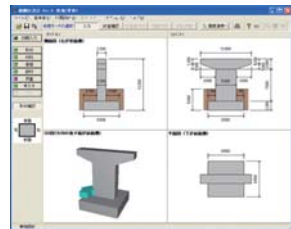
本課題1では断面の配筋と断面耐力の算定を行うもので、設計照査(OK or NG)は行いません。また、単鉄筋(圧縮鉄筋と側方鉄筋を無視)による断面の曲げ耐力を手計算によって計算し、ソフトウェアの算定結果と比較しました(これも、実務に自然に行う作業と思います)。

課題2では、この課題1にて決定した断面を使って、許容応力度法および地震時保有水平耐力法による耐震設計計算を行います。許容応力度法において、手計算によるRC断面の応力算定はやや複雑となり、「モバイルUC-1」を活用します。また、地震時保有水平耐力法においては、M-φ関係を手計算で算定することはまず不可能ですから、「UC-win/section」の出番となります。ただし、これ以外のすべての計算過程は手計算で行います(写真3)。

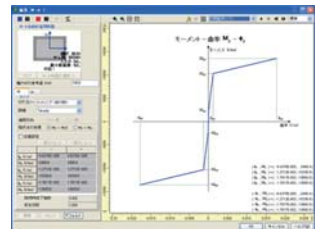
実は、課題2では、地震時保有水平耐力法による照査がOUTとなるような条件を「橋脚の設計計算」であたり、学生には事前に設計条件として与えています。よって、本課題3では、照査結果がOKとなるよう、配筋を変更させ、課題2と同様に許容応力度法~地震時保有水平耐力法のレポートを再度、完成させます。

■授業を終えての感想 このような授業の運用により、次のような効果がありました。

- ・学生60名全員の設計条件を変えていますので、もちろん他人に頼ることはできず、自力で頑張っていました。
- ・手計算で苦労して解を得ることも大変重要ですが、実務計算に使うツール(商用パッケージソフト)を活用/習熟することにより、限られた授業時間で多くの演習をこなすことができました。モバイルソフト、パソコンソフトともに、当初は訝しげな学生もすぐに慣れ、嬉々として画面に向って行っていました。
- ・ソフトウェアの入力方法を他学生に教える際に、構束筋、せん断補強筋、曲率など、初めて知る専門用語を自然と使うようになり、その定義と工学的な意味合いも確実に身につけていきます(少なくともそのように見えました)。呑み込み早い学生が、遅れている学生に説明している様子は、一端のエンジニアのようでもあり、頼もしいもありました。
- ・断面特性や応力計算など、手計算では極めて困難な計算にパッケージソフトウェアを活用することにより、次のステップに進むことができ、設計計算の流れを早い段階で理解させることができました。
- ・さらに、他人に教える要素を盛り込むことで、耐震設計計算の流れを、限られた時間だけで効果的に理解させることができました。学生が授業時間外に行うのは、計算書のみとワークシート程度です。
- ・わざと、照査結果がOUTになる設計条件を与え、設計変更あるいは補強計算を行うことで、耐震設計計算の核心を理解させることができたと感じます。特に横拘束筋の重要性(効き具合)は、この時に気付くこととなります。逆に、講義にて何回説明しても結局は身に付かず、演習の試行錯誤を通して理解することで確信しました。



▲図1



▲図2



▲写真1



▲写真2



▲写真3

●Weblesson (フォーラムエイト ホームページ掲載中) 吉川教授と学ぶ! 構造工学・耐震設計 (#1~#13) URL: http://www.forum8.co.jp/forum8/weblesson.htm