

論文題目：“東京および近隣の長周期地震動による応答継続時間について”

著者：篠泉

掲載：Vol. 55A, pp. 343-352, 2009年3月

◆討議 [庄司学（筑波大学）]

本論文の検討対象となっている「応答継続時間」を、構造物の性能評価の観点から、今後どのように活用するのか。その方向性をおきかせ頂きたい。

◆回答：長周期構造物の建設位置付近にある強震観測点での強震記録より応答継続時間を数多く計算し、整理して、今後、その地点で経験されるであろう応答継続時間を応答レベルに応じて推定できるようにし、その結果を利用してその長周期構造物の安全性を評価する、と考えています。また、緊急地震速報等において、超高層ビルなどの居住者に、短周期地震動の後からやってくる長周期地震動による揺れの継続時間を応答継続時間の検討結果に基づいて告知できるようにする等の活用も考慮中です。

論文題目：“地殻内地震の応力パラメータに関する基礎的研究—2003年宮城県北部地震及び2005年福岡県西方沖地震—”

著者：鶴来雅人，香川敬生，入倉孝次郎

掲載：Vol. 55A, pp. 353-363, 2009年3月

◆討議 [小池武（東京都市大学）]

研究の成果を踏まえると、任意地点における将来の地震動を予測する際に、応力降下量はどのように予測すればいいのか。断層サイズや地震特性の影響をどう取り込めばいいのか。お考えをお聞かせいただきたい。

◆回答：文部科学省地震調査研究推進本部は、地震動予測手法の構成要素である震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定方法を取りまとめ、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」として公開している。

このレシピでは、断層面全体の平均応力降下量 $\Delta\sigma_c$ およびアスペリティにおける応力降下量 $\Delta\sigma_a$ は下記の通り与えられる。

$$M_o = \frac{16}{7\pi^{3/2}} \times \Delta\sigma_c \times S^{3/2} \quad [\text{Eshelby (1957)}]$$

$$\Delta\sigma_a = \frac{7}{16} \times \frac{M_o}{r^2 \times R}$$

ここで、 M_o は地震モーメント、 S は断層面積、 R および r は断層およびアスペリティをそれぞれ円形と仮定した時の半径である。このレシピによれば、例えば、面積 $S=600\text{km}^2$ の断層（地震モーメント： $2.0 \times 10^{19}\text{N}\cdot\text{m}$ 、モーメントマグニチュード：6.8に相当）を想定した場合、断層の等価半径は約13.8km、アスペリティ面積の等価半径は約6.9kmとなり、断層面全体の平均応力降下量は3.3MPa程度、アスペリティにおける応力降下量は14.3MPa程度で与えられる。なお、レシピは既往大地震の観測記録を元にした分析から経験則を基にしており、これにより与えられる応力降下量も既往大地震の平均的な値と言える。

本研究では、岩盤観測点における観測記録をもとに応力パラメータを求め、これとレシピで与えられる応力降下量の比較を行った。その結果、レシピで与えられる値の妥当性が概ね確認できた。一方、応力パラメータの地震毎のばらつきが大きいことも明らかとなった。以上より、強震動予測にあたっては、レシピによる応力降下量を基本とし、ある程度のばらつきを与えて、パラメータスタディを行なうのが良いと考えられる。

なお、本研究ではBrune(1970)による式〔論文では式(4)に相当〕を用いて応力降下量を求めている。この式で得られる応力降下量は実用的で有用なパラメータであるため広く用いられているが、物理的に正確な意味での応力降下量ではなく、「応力降下量と呼ぶべきではない」との指摘がある[Atkinson and Beresnev(1997)]。これを勘案し、論文およびこの討議集では〔応力降下量〕ではなく〔応力パラメータ〕と称している。

論文題目：“定常確率過程に基づく初通過理論に地震動の非定常性を考慮した応答スペクトル適合地震動の作成”

著者：島田智之，三神厚，牧浩行，成行義文

掲載：Vol. 55A, pp. 364-371, 2009年3月

◆討議 [小池武（東京都市大学）]

距離減衰式、シミュレーション結果、初通過理論値のスペクトル特性の比較において、長周期側に三者のずれがあるとの指摘であるが、論文中の図を見る限りでは比較的良好一致しているように見受けられる。もし、三者の曲線が平均値を表示しているのであれば、各曲線の標準偏差を図示して予測精度の差異を明示するなど、三者が必ずしもよく

一致していないことを示す必要があると思われるが、いかがでしょうか。

◆回答：論文内の図-3, 4において、初通過理論と距離減衰式の加速度応答スペクトルは、比較的良く一致しているといえます。しかし、初通過理論とシミュレーション結果については、図-7, 8に示すように比較的周期の長い領域において、両者の比が1.5～2倍程度の差があることを示しています。

◆討議 [篠泉 (足利工業大学)]

図4および図5に示されているスペクトルの長周期側の差がある場合、波形を作成した場合はどの程度の相違があるのでしょうか、お示し頂きたい。

◆回答：初通過理論によって応答スペクトルを求める場合は、パワースペクトルなどの地震動モデルから直接応答スペクトルが求まりますが、この方法から時刻歴波形は求めることができません。よって、波形上の違いとして、初通過理論による方法とシミュレーションによる方法では、両者を比較することができません。

論文題目：“鋼製円筒タンクの地震リスクに対する性能設計法”

著者：今井俊雄，荻久保智隆，小池武
掲載：Vol. 55A, pp. 383-392, 2009年3月

◆討議 [伊藤義人 (名古屋大学)]

鋼製タンクの地震リスクを検討されていますが、以下の点についてどのように考えておられるのかお聞かせいただきたい。

- 1) 石油タンク等で問題となるスロッシングは検討に含まれていないのではないかと？
- 2) 耐震性能の定義において、漏洩を許す定義もありますが、有毒・可燃性の液体では通常は認められないのではないのでしょうか？
- 3) 鋼板の破断を考える際に、溶接の熱影響部での破断は精度良く規定・予測できないのではないのでしょうか？

◆回答：

1) ご指摘のとおり本研究では短周期応答に限定して議論を進めています。石油タンクにおけるスロッシング被害は、内容液の漏洩や浮き屋根構造の破壊に伴うものであり、主構造の損傷よりも火災による二次災害が主体であると考えます。今回の検討では、アンカーの無い円筒タンク本体構造に着目しており、その主な被害モードである側板の象の脚座屈とアニュラプレートの亀裂損傷を対象として評価を行っています。

2) 本研究では、タンクの損傷モードとして3段階のモード(小損傷・中損傷・大損傷)を定義していますが、ご指摘のように内容液によっては重大な二次災害を引き起こすおそれがあることから、要求される耐震性能には差が出るものと考えます。例えば可燃性の液体の場合には、耐震性能2(EQ2により局部座屈は生じるが亀裂漏洩は発生しない)を限界状態として定義すれば良く、配水池の場合には耐震性能3(EQ2により局部的亀裂漏洩は発生するが大規模漏洩は発生しない)を定義すれば良いと考えます。

3) 材料強度に関する不確実性としては、溶接に伴う熱影響部以外にも様々な要因があると考えられます。本研究では、これらを総合した形で終局限界ひずみに関する不確実量の特性値(平均値, 変動係数)として与えています。

もちろん、これらの不確実量をより精度よく評価するためには数多くの実験データに基づく評価が必要ですが、本研究では鋼製タンクの性能設計手法に関する考え方を示すのが主旨であり、不確実量の精度向上については踏み込んだ検討をしておりません。

論文題目：“滑走路地盤の合理的な液状化対策とその確率的評価法”

著者：池野勝哉，吉田誠，熊谷隆宏，菅野高広，中沢博志
掲載：Vol. 55A, pp. 393-404, 2009年3月

◆討議 [一井康二 (広島大学)]

液状化層厚の変化に加えて、地盤物性あるいは液状化対策の改良効果のばらつきをモンテカルロシミュレーションにより確率的に評価してされています。しかし、液状化層厚の変化がおそらく支配的であるので、モンテカルロシミュレーションをわざわざ行う必要があるのかどうかよくわかりません。液状化層厚の変化によって生じる傾斜に対して補正係数か何かを考える方が合理的だと思いますが、ご意見をお聞かせいただきたい。

◆回答：元々、地盤物性の空間的な変化が大きく、液状化層厚の変化が支配的な場合には、御指摘の通り、補正係数を乗ずる方法が簡便でよろしいのかもかもしれません。しかし、地盤物性の空間的な変化が少ない場合には、液状化層厚の変化の影響に比べて地盤物性のばらつきの影響が大きくなり得ると考えられます。このため、地盤物性や層厚、改良効果のばらつきを考慮して不同沈下を評価することに意義があると考えています。

実際には、液状化層厚の変化が支配的な領域だけでなく、ばらつきの影響が支配的になる領域が混在すると思われるので、全体として確率的に評価することが必要です。

論文題目：“載荷履歴の影響を考慮した砂の体積変化特性モデル”

著者：大矢陽介，吉田望，菅野高広

掲載：Vol. 55A, pp. 405-414, 2009年3月

◆討議 [小池武 (東京都市大学)]

モデルのパラメータを決定する場合には、振動三軸試験を行って液状化した後に排水させ、体積を求める必要があるのか。あるいは、物理試験だけで決められるものと考えてよいのか。現状の土質試験の枠内で決められるものかどうか興味があるので教えていただきたい。

◆回答：本研究では、モデルのパラメータである繰返しせん断による体積収縮量の最大値を、既往の実験結果、液状化完全率FL-過剰間隙水圧消散後の体積ひずみ関係から設定しました。一方、排水後の間隙比は初期間隙比に関わらずほぼ最小間隙比になるという研究成果が報告されています(海野寿康他：同一繰返しせん断履歴における乾燥砂と飽和砂の体積収縮量の関係，土木学会論文集C, Vol. 62, No. 4, pp. 757-766, 2006.)。したがって、物理試験だけで決めることもできます。

繰返し載荷の程度を表すパラメータ $c1$ は、本研究では豊浦砂を対象とした既往の実験結果を用いています。このパラメータについては、例えば解析に与える感度、材料ごとの代表的な値、どのような物理・力学特性と相関がある、などの性質について十分な検討がされていないので、暫定的に既往の実験結果を用いる、材料毎に繰返し三軸試験等から求めるなどの方法が考えられます。

論文題目：“河川堤防の耐震性評価における継続時間の長い地震動に対する有効応力解析の適用性の検討”

著者：吉澤睦博，酒井久和，渦岡良介

掲載：Vol. 55A, pp. 415-420, 2009年3月

◆討議 [大矢陽介 (港湾空港技術研究所)]

継続時間の長い地震動の場合、繰返し回数が多くなるが、それぞれの解析におけるパラメータ設定(液状化強度試験のフィッティング)では、繰返し回数が多い範囲で実験結果に合うような工夫など、どのような判断・工夫が行われたのか教えていただきたい。

◆回答：今回の検討は、正弦波入力で模擬した振動実験結果を再現するためにプログラム毎にパラメータをキャリブレーションした解析モデルに対して、継続時間の長い地震動を入力した場合にプログラム間でどの程度のばらつきが出るかを把握することを目的としたため、モデルのパラメ

ータ設定を再度行うことはしていない。今後、考えられる改良点としては、通常正弦波入力による液状化強度試験の結果のフィッティングに加えて、継続時間の長い地震動を模擬したランダム波入力による液状化強度試験に対するパラメータフィッティングを追加することがあげられる。

◆討議 [池野勝哉 (五洋建設)]

遠心実験は排水条件であるのに対し、比較している計算ではLIQCAが排水、FLIPでは非排水条件と異なる条件となっている。種々の定式化の違いのうち、この排水条件の違いで生じる変形量は大きいのか小さいのか、検討した結果を教えていただきたい。

◆回答：今回は入力した地震動が過大であったため、排水条件の違いによる影響よりも、液状化強度を高く設定して作成した基礎地盤のモデル化の違いによる影響の方が大きくなった。一般に排水条件と非排水条件の違いは変形量に影響すると考えられるがその違いを把握するまでには到らなかったため、今後は継続時間の比較的長い振動実験結果のシミュレーション等を踏まえて検討していきたい。

論文題目：“骨組モデルを用いた控え直杭式矢板岸壁のレベル1地震動に対する変形性能評価の高度化に関する研究”

著者：長尾毅，宮下健一郎

掲載：Vol. 55A, pp. 421-434, 2009年3月

◆討議 [清宮理 (早稲田大学)]

- 1) 矢板の変形を求めるとき、本研究ではタイケープル付近の土圧と矢板地中の前面土圧を修正しているが、どちらの方が寄与が大きいのか教えていただきたい。
- 2) 本研究が従来より精度が上がったと結論付けているが、標準偏差はともかく平均値についてはどう考えればよいか教えていただきたい。

◆回答：

- 1) 矢板頭部の変形にはタイケープル付近、矢板下部の変形には地中の土圧が大きく影響していると考えています。
- 2) 本モデルの矢板下端変形量と本研究で正としている2次元解析の矢板下端変形量の比は、従来のモデルに比べて1から離れており、やや精度が下がっていますが、耐震性能の評価で重要となる矢板天端変形量の比は従来のモデルに比べて1に近づいており、全体としては精度が上がっていると考えております。

論文題目：“鋼板セル式岸壁の地震時挙動に関する研究”

著者：佐藤成，竹信正寛，小濱英司，清宮理

掲載：Vol. 55A, pp. 435-448, 2009年3月

◆討議 [一井康二 (広島大学)]

実験において、セルの中詰砂に大きな沈下が見られているが、セルの変形に起因するものとして説明がつくものか、それともゆすりこみ沈下によるものと推測されるのか、検討されていれば教えていただきたい。

◆回答：この点についてはこれからの評価と考えていますが、現時点での推測としては、模型実験を見た感覚からすると表層部の揺すりこみ沈下のように感じています。1G場の実験なので低拘束圧下であり、その可能性はあると思います。遠心実験などの結果も参照したいと思っております。

論文題目：“高架道路橋の地震時機能損失評価”

著者：笛木孝哲，庄司学

掲載：Vol. 55A, pp. 449-459, 2009年3月

◆討議 [長尾毅 (国土技術政策総合研究所)]

- 1) フラジリティカーブの対数正規分布のフィッティングの際に、損傷度の高い部分のデータがないので、その辺りについては精度に問題がある可能性があると考えます。その辺りの全体の結論（コスト等）への影響程度はどうか教えていただきたい。
- 2) 構造要素のフラジリティカーブによってシステムとしてのフラジリティを評価する方法だと考えますが、システムとしてのフラジリティはエレメントのフラジリティのみから評価できるのでしょうか。

◆回答：

- 1) 被災データが得られていないPGV帯域における精度が不足しており、より精確な評価を行うためには、今後のデータの蓄積、推定手法の再検討が必要と考えます。
本論文中のモデル化では、フラジリティの誤差は損失コストに直結しており千万単位での差異が生じますが、コストのオーダーが変わらない範囲にとどまることから、モデル全体への影響は少ないと考えております。
- 2) 橋脚の破壊に伴い上部工が落下・損傷するなど、損傷形態によりエレメント間に従属的な関係が見られており、システムとしてのフラジリティを精度よく評価することは現状では困難であり、一方で損傷形態に係る

ETA分析の結果、個別のエレメントに対するフラジリティにより一定の評価は可能と考え、検討を行っております。

論文題目：“単純間橋桁に作用する砕波津波の荷重に関する実験的検討”

著者：庄司学，森山哲雄，藤間弘司，鳴原良典，笠原健治

掲載：Vol. 55A, pp. 460-470, 2009年3月

◆討議 [長尾毅 (国土技術政策総合研究所)]

砕波津波の砕波成分は周期が短いので橋桁の活動に対する影響は小さいようにも思いますが、いかがでしょうか。

◆回答：本論文では、流速および水平波力が最初のピークを迎える時点におけるそれらのピーク値に基づいて、検討を行っています。橋桁模型に津波が作用し始めて10秒間程度の時系列の中で、流速や波力がどのように振る舞い、橋桁の損傷にどのような影響を与えるかについては今後さらなる詳細な検討が必要であると考えています。

◆討議 [清宮理 (早稲田大学)]

「桁が移動した」と判断するための、移動の定義がやや不明瞭であるように感じますが、実際の判断はどのように行われているのでしょうか。

◆回答：コンクリート製で作成した橋台模型に対して、橋桁模型が明確に横移動した状態を目視により判断しました。

◆討議 [浅井光輝 (九州大学)]

- 1) 波力の計測は分力計のみにより合力として計測されているのでしょうか。もし、高さ方向の分布を圧力計により計測されているならば、その結果について教えていただきたい。
- 2) 段波から砕波が生じて構造物に作用した時と、砕波が生じず作用した時の波力について、実験結果を比較されていれば教えていただきたい。

◆回答：

- 1) については合力のみの検討です。高さ方向の圧力分布の計測については今後の課題です。
- 2) については、本研究では砕波の中でも「砕け寄せ波型」と「巻き波型」の2つのタイプを対象として取り上げ、これらを明確に峻別し、モデル化して実験を行いました。従って、2つのタイプの砕波を扱っていますが、砕波が生じない場合については検討を行っていません。