

一般報告

いという問題もある。これらは現場での地震観測の宿命的限界とも言えるものであるが、その意味での限界が本セッションの研究のいずれにも指摘できると思われる。特に、軽震時の情報と強震時のそれとのギャップをどう埋めるかは今後の大きな課題であろう。

本セッションの研究の中でアレー観測システムの規模およびデーターの集積度という点から特筆されるのは456と459の研究であろう。両者は自然地盤もしくはパイプライン、盛土構造物と対象は異なるが、いずれも新しい知見と有用なデーターを提供するものとして高く評価される。今後は、長期的視野に立って、強震レベルに迫る観測を特に期待したい。両者のうち456は地盤のひずみが震源の影響、波動特性の違いなどの種々の要素に支配されるという知見を与えている。このメカニズムについての詳しい分析は報告されていないが、今後は周波数領域の議論を踏まえて、更に詳しい検討がなされることを期待したい。459では盛土の地震時挙動および補強工の効果について報告している。特に、間隙水圧の挙動についての報告は興味深い。間隙水圧の大きさは加速度の大きさに比例する傾向があるが、必ずしもそれだけに規定されず、震源の位置によって異なるという結果を示している。これについては、震源の位置の差違もさることながら、もっと本質的要因が考えられる。間隙水圧発生に及ぼす外的誘因のパラメーターを明らかにするという観点から、この因果関係について更に詳細な考察がなされることを期待したい。

454は丘陵造成地における盛土と切土の振動特性の違いを地震動と常時微動観測によって明らかにしようとしたものである。得られた地震記録の範囲内では盛土、切土の地震時挙動は変わらないこと、常時微動では短周期領域で盛土と切土に明りょうな差違があることなどを指摘している。456などの結果を参照すれば、盛土、切土の振動特性の差についても地震の諸元の影響などが考えられる。継続的観測により更に総合的な結論を期待したい。

458は建物直下の杭の地震時挙動について、ひずみ観測

を含めて杭・建物系のアレー観測により求めた報告である。杭において、軸ひずみより曲げひずみの方が大きいことなどを指摘している。杭全般の挙動にアプローチするという点からすれば、データー不足の感は否めないと思われる。特に、杭のひずみ観測については他にも大規模なアレー観測の事例も多いので、ここでの結論を相対的に評価する意味から、それらを参考とすることも一考であろう。

455は異なる地点における鉛直アレー観測に基づいた地中の振幅分布をまとめたもので、地盤構造の違いにより振幅の減少率、換言すれば地中の増幅率が異なることなどを指摘している。一次とりまとめということで、ここでの指摘は従来の知見の確認にとどまっているが、周波数を考慮した多角的分析により新たな知見の抽出が期待される。

457, 460, 461は常時微動に関するものである。457はシリーズものの研究であるが、常時微動の観測を通して、地形ならびに建物設置などの人為的環境変化による振動特性の変移を追跡したものである。常時微動の応用法開発という観点から注目したい。

460, 461はペアーの発表で常時微動測定結果のうち、スペクトルでなく特に平均振幅というパラメーターのみで、自然地盤あるいは造成地盤の地震時危険度を予測しようとする試みである。460と461の違いは、いわば成功例と失敗例の紹介で、両者を通して小分割グリッドによるゾーニングの有効性を主張する意図のように思われる。常時微動のサイズミック・ゾーニングへの応用開発という積極性を評価したい。このうち、常時微動の平均振幅と建物被害分布との相関性についての説得力を高めることは今後の課題であろう。

討 論

総括者の問題提起に対して各発表者が応答するという形で質疑がなされた。その他、459で杭を自由端と仮定したことに対する質疑応答、460, 461に関連して常時微動測定間隔の最適グリッド長についての質疑応答などが行われた。

第2日 午前の部 第5会場

岡山大学 竹宮 宏和

- 462 伝ば性地震波動の観測速度値と理論分散曲線(高田・安福)
 463 位相差と距離減衰を考慮した発破振動解析(藤堂・C.H. Dowding)
 464 観測記録に基づく地盤の非線形地震応答解析結果からの2,3の考察(田蔵・横田・土岐・清水・嶋田)
 465 地盤の地震応答解析に関する検討(常田・木全・近藤)
 466 地盤の非線形地震応答解析手法に関する一考察(田

蔵・清水・嶋田・横田)

- 467 波動逸散を考慮した有限要素法による震動解析(泉・原田・志波・岩野・西橋・林)
 468 逸散減衰を考慮した有限要素法による杭打設時の地盤振動に関する解析(花里)
 469 動的サブストラクチャー法による地盤-基礎-上部構造物系の地震応答解析(竹宮・嶋田・辰己・片山)
 470 土構造物-地盤系の地震応答解析(柴田・佐藤・砂坂)
 471 境界要素による不整形地盤の震動解析(土岐・佐藤・前田)

472 動的水平力を受ける単杭の有限要素法による解析結果(第2報)(榎戸・白砂・後藤)

問題点および将来の展望

波動伝ば

ライフライン建造物の耐震性に関して、表面波(レーリ波、ラブ波)の重要性が認識され、周波数の伝ば特性、特に周期と位相速度の関係が研究対象となっている。462はこれまでの地震観測・実験結果と Haskell (ハスケル) の理論解析結果を比較したもので、一応、後者の理論で説明できると結論している。ライフライン建造物の耐震性は、一般に地盤ひずみに直接関係していることより、ストレイク・スペクトルの概念が提案され、この方面のデータの集積が望まれる。

波動伝ば問題として、発破を対象としたのが463である。ここでは簡単に正弦波の伝ばを仮定し、経験的な距離減衰式を使用しているが、建物の応答評価には、地盤よりの入力波の位相効果を考慮したほうが実測値に近い結果が得られると述べている。解析自体は、まだプリミティブであるが、今後、より綿密なモデル化へと発展されよう。

加振源を含む問題として、468は杭打ちによるレーリ波の伝ばを扱っている。今回は点加振状態を対象に二次元有限要素解析を実施しているが、杭の打設はむしろ線加振状態として把握されるべきである。またモデル化としても簡単に軸対称問題として三次元的に処理できよう。

地盤震動

地盤の地震応答解析は、主に土の応力-ひずみの非線形履歴特性に注目し、一次元(SH)波動伝ば問題として扱われてきている。解析手法として、フーリエ変換法を導入した重複反射理論と、せん断柱モデルによる多質点解析に分類される。前者は波動の地下逸散減衰を評価でき、後者は非線形挙動を忠実に追求でき利点がある。464では、土の応力-ひずみ関数モデルとして、Hardin-Drnevichタイプと Ramberg-Osgoodタイプを採用し、これらに基づく計算値と地震観測値を比較してモデル選定の差を論じている。R-Oタイプは、H-Dタイプより1個パラメータを多く取れることより、等価線形化法で同タイプを使用する場合、等価減衰定数に応じたひずみ依存曲線を採用できる可能性を示している。せん断柱モデルの場合、地下逸散減衰効果をどの程度考えるかによっても非線形応答は大きく変化してくるが、入力波とも関係してくるため、上記2種の方法がそれぞれ補完的な意味合いで採用されよう。この観点から466は、両手法による応答値を比較したもので、土の履歴特性にR-Oタイプを採用すれば、両者はかなり良一致を示している。しかし、応答解析結果が、仮定した土の履歴特性にかなり敏感であることは、実測資料の集積からの

分類を必要としよう。

地盤振動に関して、いま一つ重要なことは液状化の問題である。上の地盤解析が全応力法とすれば、465は有効応力法による解析プログラムを使用し、過剰間隙水圧の遷移状態を時系列で追求している。対象としているのは、一次元せん断波動であるが、現実には液状化現象は少なくとも二次元的に把握されるべきもので、この方向への発展が望まれる。

沖積地盤を二次元的に把握する場合、一般に不整形な様相を呈している。471はSH波に対する同地盤の解析を境界要素法から試みたもので、解析精度をチェックした上で、一次元重複反射理論は応答を過小評価する危険性があると指摘している。したがって、地盤特性の分布状態から、解析手法の適用限界を明確にすることが将来の研究に残される。

地盤と建造物の相互作用

地盤と建造物の動的相互解析に有限要素法が適用されることが多くなってきているが、その際のモデル化として、境界の設定およびメッシュ分割が解析結果に大きくかかわってくる。467は鉛直入射のSH波を対象に検討したものであり、例題的にフィルダムを取り上げて地下逸散減効果を評価している。解析対象建造物が大型化長大化してくると、入力地震波も一様とは仮定し得なくなり、波動伝ば効果を評価して耐震安全性を論じなければならない。この観点から470は波動論と有限要素法のハイブリッドを採用して堤体の解析を行っているが、連続条件において今回の近似がどの程度の精度を保証するか疑問が残る。469は地盤-基礎-上部建造物系の耐震解析システムの開発を目指したもので、動的サブストラクチャー法を適用している。外境界面における地震入力に波動伝ばに従うよう定式化されている。上記いずれも現象を二次元問題ととらえているが、三次元的な解析が基礎構造形式によっては必要となる。472は単杭の水平振動外力下の解析を、回転体有限要素を用いて非軸対称荷重を仮定して行い、杭頭インピーダンスを評価している。地盤の非線形性は等価線形化しているが、実験との対比から線形解析の適用限界について触れている。今後、こうした過程を経て、実用的な耐震設計のための公式化作業がなされることを期待する。

討 論

総括報告で指摘した疑問点、コメント等に対する発表者からの応答があり、引き続きフロアとの質疑応答が残りの時間で行われた。討論としては、471に関連して、有限要素法と境界要素法の適用に関する特質・利点が注目に値した。

一般報告

その他

土質工学研究発表会において、地盤、地盤と構造物の相互作用に関する動的問題が論文件数で増加の傾向にある。同分野は、土質工学と構造工学の境界分野であり、双方の“相互作用”が今後の発展を約束する。

埼玉大学 渡辺 啓行

- 473 盛土の地震時沈下解析（中村・渡辺・谷野・竹氏・高）
 474 盛土の地震による変形量の解析手法（佐々木・松尾・館山）
 475 盛土の地震時安定解析における一つの試み（中村・渡辺・谷野・安田・竹氏）
 476 地震応答解析による斜面の安定性の検討（岩崎・川島・森本）
 477 地震時における斜面の安定解析（土岐・三浦・小国）
 478 中空ねじり三軸装置を用いたダム地震時安定性の評価（石原・梶田・渡辺）
 479 貯水状態におけるフィルダム模型の振動実験と非線形動的解析（田中・谷・安中・川口）
 480 フィルダムの現地起振実験のシミュレーション（大町・時松）

問題点および将来の展望

斜面あるいは盛土・フィルダム等の土構造物の耐震性評価内容は、地震時の斜面危険度を判定し、崩壊形態を想定した上で対策工を講じ安全性を確認するのが基本である。この内容を設計的観点からやや詳細に考察すると、①設計地震動の策定、②構造・応力解析、③評容応力度（評容変形量、安全率等を含む）の策定、④対策工、の4項目に大別できよう。このうち、④においては耐震性向上を目的とした斜面補強の研究は少なく、排水工や締固め等の常時の安定性を向上させる対策工が結果的に耐震性向上に役立っている例が多い。①は土構造物に限らず一般的な構造物にかかわる基本的な研究課題で関連する学問分野全体で研究が進められている。②は常時応力解析、動的解析、浸透流解析等を行い、これらを組み合わせて土構造物内の応力分布等の応答量を算出することを目的とし、重要な研究項目は、解析コードの信頼性の検証と既に出尽くした観のある解析手法の改良・精度向上等であろう。すなわち、共通の解析対象（例えば地震応答等）に対して解析手法の異なる種々のコードが提案されているが、これらが同一条件下で同じ解を示すか否かは実務上重要な問題である。また、できれば、実構造物において、地震規測結果や掘削・盛立て・たん水時の挙動観測結果と解析結果とが一致することを確認しておくか、少なくとも起振実験や模型実験で検証してお

く必要であろう。③は解析結果から構造物の安定評価を行う手法の確立が目的の課題で、土構造物の震動破壊機構の解明、地震時の土構造物の揺込み、材料の動的強度（含変形）の評価、破壊解析コードの開発等が目下の重要な研究課題であろう。

本セッションの論文はすべて上記②と③とにかかわる研究で、特にその手法は全編共通して動的解析を用いている所に特徴がある。473と474とは地震動による盛土の揺込み変形を、動解と室内材料実験とに基づいて繰返し荷重に伴う累積変形を静的割線係数の低下として表現した上で、静的FEM解析により推定したもので、斜面安定評価の一方法を示しているが、今後の展開として累積変形は動的解析に組み入れていく方向で発展させるべきものと考えられる。475は動解による応力をもって円弧すべり安全率を計算しフェレニウス法と比較したものであるが、すべり面上土塊の瞬間平均加速度（その瞬間の土塊の全慣性力を土塊の質量で割った値）を荷重として慣用法による安全率を求めれば、その瞬間の動解の安全率と良い一致を見るはずである。476は自然斜面を掘削した場合の形状により地震時安定性が変化する状況を動解によって検討し、常時に安定性の悪い地点が地震時にも崩壊の可能性が高いことを示したもので、形状から地震時に不安定となる地点を簡便に予測する手法の開発への発展が望まれる。477は斜面の地震時すべり安定をジョイント要素を導入して評価する手法を示したもので一種の破壊解析手法の提案である。斜面等のすべり安定評価に今後多く使用されていくものと期待される。478は473、474と類似の研究であるが、材料の非線形性をやや詳細に計算に導入した所に特徴がある。479はフィルダム模型の振動実験を貯水条件下で行い、動的解析、浸透流解析を併用し総合的に解析手法の信頼性の検証を試みたもので精密な研究であり今後の発展が大いに期待される。480はフィルダム三次元解析手法の簡便化を図った研究で、地形による拘束の大きいダムの固有周期の予測には有効な手法と言えよう。しかし、応力解析には、何らかの工夫を加味することが要求されよう。

討論

盛土の沈下・変形解析(473, 474, 478)に関して体積変化と累積変形の影響の大きさの度合いについて討論されたが、まだ研究例が少ないため今後の研究に待たざるを得ないのが実状のようである。また、破壊解析手法について討論されたが、経済性を無視すれば基本的にはどのような解析も可能であろうが、実用的には良い方法が少なく、現状ではジョイント要素を適用する手法(477)が最適と考えられているようである。この討論を通して実用的な破壊解析手法の開発が今後の重要な研究課題であることが浮彫りにされたものと言えよう。