

総括・一般報告

特殊土の特性として、挙動が特異であるとかあるいは土質試験法や土工の設計・施工において特別の配慮を必要とすることなどがあげられる。したがって特殊土に関する研究はこれらの特性への対応と本質の解明となる。有機質土、関東ローム、まさ土およびしらすの土質試験法については、既に留意すべき指針が与えられており、土工においては従来の研究成果に基づいた工学的分類法の提案や各種の技術的な対応がなされている。特殊土問題解決の基礎は土としての性質の特異性を解明することであり、それが特殊土固有の性質か、あるいは砂や粘土にもある性質が特殊土において顕著に現れているかの説明を行うことである。主要な研究課題としては粒子破碎、コラプス現象、強度異方性、物理化学性、繊維質、サンプリング法などが取り上げられている。

まさ土、しらす、粗粒材などに顕著な現象である粒子破碎は、低圧から高圧まで応力範囲を広くとるとあらゆる地盤材料に共通した性質であり、低圧から高圧にいたる地盤材料の力学的挙動を統一的に説明するために解明すべき重要な1要因である。191にみられるように破碎量は比表面積の増加量で定量化されることが定着したようであり、多くの場合比表面積増加と塑性仕事との関係が論ぜられている。ここで、比表面積変化は水分存在下においては表面張力やサクシジョンのような表面エネルギー変化を伴うので、この面からの力学挙動に及ぼす影響の検討へと進めないであろうか。コラプス現象はまさ土やしらすに顕著であり、まさ土については従来かなりの研究成果が得られている。193はコラプスとAE特性の関係を考察したものである。力学特性に及ぼす異方性の研究は現在の土質力学の中心課

題であり、180, 182, 187, 189, 190がこれに関係する。異方性の挙動の原因は粒子配列や堆積圧の異方性、地盤の不連続面や間隙分布などに求められる。乱さない供試体の力学特性の解明にはサンプリングおよび供試体作成における乱れをなくすることが最大の課題であり、187と188はサンプリング法の開発に関係するものである。サンプリングチューブ類の使用は乱れを避けられないと考えられ、181, 182, 190のようにブロックサンプルからの削り出しという原始的方法が乱れない供試体を得る最善の方法であろう。また異方性を問題とする場合は地層の走向・傾斜と試料の採取方向に配慮を必要とする。

有機質土に関する183, 184, 185の研究からは供試体の試験として行われる有機質土の研究手法の困難さがうかがわれ、有機質土の本質にせまり得る研究手法が模索されている段階のようである。180, 186も有機質土を取り扱っている。乱さない供試体と練返し（締固め）再成形成供試体との力学的挙動の差も特殊土の1特性とされ、しらす、まさ土、関東ロームなどで確認されている。181, 188, 189がそれに関係している。178, 179は物理化学的性質に関係するものであり、この分野は特殊土におけるよりもむしろ土質力学の研究における今後の中心課題の一つである。特に、物理化学的性質が力学特性にどのような影響を及ぼすかの研究は、今後の土質工学上の問題解決に必要となるであろう。182が取り扱っている三軸試験供試体の寸法効果および端面拘束は、古くからの問題であるが、試験機の精度向上に伴って最近再検討が行われている。工学的研究に位置づけられる186, 192は諸要因の精度が問題となるであろう。

動的性質、動的問題

一般報告

(財)電力中央研究所 国生剛治

194 締め固めた砂および泥岩塊の動的変形特性のひずみ依存性(社本)

195 粘土と砂の混合土における動的弾性特性(続報)
(後藤・岡本・青木)

196 破碎帯の動的変形特性について(赤司・永津・江藤・川畑・田中・佐々木)

197 低拘束圧下の砂の動力学特性(杉本・畑中・鈴木・伊藤・桑原)

198 繰返し載荷を受ける飽和砂の動的変形特性—その3(山下・眞島・長瀧)

212 繰返し載荷を受ける飽和砂の動的変形特性—その4(τ - γ 関係のモデル化)(山下・眞島・長瀧)

199 繰返し載荷中の排水条件が減衰定数に与える影響(安田・山口)

200 非排水条件下における動的ポアソン比に関する考察(西尾・社本)

201 オンライン実験方法によるカオリン粘土の動的性質の実験的解析(片田)

202 軟質地盤における原位置動弾性率の簡便な測定方法(大町・中井)

203 PS 検層における反射S波を利用した減衰 h の算出について(坂山・殿内)

204 大阪地盤におけるS波速度の地域特性(岩崎・諏訪・福田)

本セッションでの発表内容は、a. 土質材料の動的変形特性の実験的研究に関するもの(195, 196, 197, 199, 201), b. 動的変形特性の定式化に関するもの(194, 198, 212, 200), c. 動的物性の原位置測定に関するもの(202, 203, 204)の3種類に分類される。

195は粘土と砂の中間の土の動的変形特性を両者を人工的に混合した材料を用いて共振円柱試験機により調べた結

果を示している。粘土分が増え塑性指数が増すに従って同じひずみに対するせん断剛性の低下割合は減少し減衰定数も小さくなるなど、従来、人工材料や自然材料で明らかにされていた傾向が再び確認された。196では岩盤の破碎帯にある風化を受けた材料の乱さない試料について三軸繰返し試験を行った結果が報告されている。この種の材料についての既往の研究例はほとんど皆無であるが、動的変形特性は母岩の違いによりある程度異なること、砂などと同様に顕著な拘束圧依存性を示すこと、減衰定数については砂とかなり異なり、特に低ひずみレベルでかなり大きな減衰定数が見込まれることなど貴重な知見が得られた。197は通常の試験と異なり、 $0.003 \sim 0.02 \text{ kgf/cm}^2$ の非常に低い拘束圧の下での砂の動的変形特性を振動台を利用した特殊な方法で測定した例を示している。そして、通常の拘束圧レベルに比べてせん断剛性と減衰定数のひずみレベルに対する変化割合が非常に激しいという従来より言われてきた傾向が確認された。この種の特殊な実験では会場からも質問が出されたように供試体自身の自重により拘束圧が供試体内で一定とはならないなど実験結果の解釈上注意すべき点が多い。また、剛性のひずみ依存性も非常に激しいので 10^{-6} 程度の微小ひずみレベルまで計測して G/G_0 の変化傾向を論ずることが必要であると思われる。199は飽和砂の繰返し载荷試験によって動的変形特性を測定する場合に、特に大ひずみレベルで試験時の排水条件によって減衰定数の測定値が大幅に異なることを指摘した研究である。すなわち、非排水条件下での大ひずみになるとサイクリックモビリティ現象によって応力-ひずみ関係が特殊な形となり、履歴減衰定数が減少することになる。このような現象は以前から知られてはいたが、これを正面からとりあげた本研究は貴重であり、今後、液状化現象を全応力的に解析する場合の問題点となろう。201は振動三軸試験機をデジタル演算器と組み合わせて1自由度振動系を作り、試験機にセットしたカオリン粘土の過渡応答での復元力特性を調べている。このような実験法のアイデアはかなり以前からあり、定常繰返し試験とは異なり非線形性の激しい破壊時の物性を調べるのに適しているが、試験機と演算器との接続点での精度の問題など実験技術上の問題点も多いと思われる。今回示されたデーターなどからはノイズの除去等の精度向上の必要性が感じられたが、破壊時の応力-ひずみ関係の解明の有力な手段として、今後の発展が期待される。

194は2種類の土質材料を対象とした大型繰返し三軸試験の結果に基づいて、等価せん断剛性のひずみレベルに対する変化傾向の定式化を検討したものである。せん断剛性は拘束圧や過圧密比などによって変化するが、ここではそれらの影響をすべて微小ひずみ時のせん断剛性 G_0 により評価する形の定式化を提案している点の特徴である。198と212は標準砂についての動的三軸試験により非排水条件

下での応力-ひずみ骨格曲線を求め、それに対する拘束圧と繰返し回数の影響を示している。これらの実験データーに基づき、拘束圧や繰返し履歴の影響を考慮した全応力非線形解析に用いるべき動的応力ひずみ関係の定式化を行っている。現在、有効応力により液状化解析法が多く提案されているが、実用面から言えば全応力解析も有用でありこのような研究も有意義と思われる。特に密な砂の解析のようにサイクリックモビリティ現象が重要となる場合、有効応力に比べて、このような全応力的な取扱いがはるかに容易に行えると思われ、このような方面への今後の発展が望まれる。200は土の固相、液相、気相を考慮した有効応力の考え方により誘導した式に基づいて、不飽和土にも適用できる動的ポアソン比の評価式を提案している。この式を大型動的三軸を用いて測定した不飽和泥岩塊のポアソン比および飽和土についての石原の式と比べ、その適用性を示している点の特徴である。

202はねじり振動を行う振動体を地表に置きその固有振動数を測定することによって、地盤表層部の動的せん断剛性を簡易に求める原位置測定法の提案であり、その基本的な有効性をモデル材料について示している。ごく地表部の調査法としては有効と思われるが、同時にいくつかの問題点も感じられる。特に地表との接触部の状態のわずかな差異や、装置自身の自重などの影響によって測定値が大きく左右されないかどうかについて今後の検討が期待される。203は成層地盤でのPS検層において、インピーダンス比の大きな層境界での反射波の記録を利用して地盤の材料減衰を測定することが可能であることを示した貴重な報告である。特に、シルト層と砂層において各々0.3%と3%の減衰定数を測定したことは興味深い。今後、多くの測定を重ねるとともに、測定精度の向上、このような反射法の適用できる条件の明確化、および同一地点から採取した試料についての室内試験との比較などが期待される。204は大阪平野での多くのS波速度 S_v 測定結果を集積して S_v と標準貫入 N 値との関連、地域特性との関連を調べたものである。そして S_v はかなりの地域特性が見られ、特に地盤沈下地帯ではほかに比べて S_v が多少大き目となっていることなどが明らかにされた。このような地域に結びついたS波速度の特徴についての研究によって、S波測定の地盤調査法としての利用価値が更に高まることが期待される。

徳島大学 澤田健吉

205 砂の強度定数の振動特性(那須・匹本)

206 密な砂の動的強度に及ぼす乱れの影響(国生・長崎)

207 繰返し試験によるまさ土の変形特性の決定について(谷本・田中・柴田・不動)

208 繰返し荷重を受けるまさ土の累積体積ひずみ特性(谷・田中・川口・小宮)

209 粘性土の単純せん断試験における主応力状態の変化(山内・巻内・林・赤星・大坪)

一般報告

210 繰返しせん断ひずみを受けた飽和粘土のダイレイタンスーについて (大原・松田・近藤)

211 初期せん断応力を受けた砂質土の繰返しせん断時における塑性ひずみの定量化 (内田・長谷川)

212 体積変化に関する誤差 (いわゆる System Compliance) が三軸液状化強度に及ぼす影響 (岡本・龍岡・山田)

214 排水条件を考慮した液状化強度 (荒川・木全・近藤・小原)

215 液状化における Endochronic 理論の適用 (山内・坂井・杉本)

216 繰返しせん断ひずみを用いた液状化ポテンシャルの評価 (横田・今野・古田)

205~211, 213~216にも多くの努力の結果が発表されている。目的や手法の重点は見方により異なる解釈ができるので、グループに分けてその方向を考えるのは困難だが、(1)実験条件の影響 206, 211, 213, 214, 216 (2)実験方法の影響 205, 207, 209 (3)累積ひずみまたは過剰間隙水圧の推定 208, 210, 211, 215 (4)液状化ポテンシャルの評価 216 とすることも考えられる。しかし 以下発表順に私見を述べさせてもらう。

なお実験対象土別に発表を見ると、(1)標準砂 205, 206, 213, 214, 215, 216, (2)粘土 209, 210, (3)まさ土 207, 208 (3)フィルダム材料の砂質土 211 となり、粘土が少ないと思われるのに対して特殊土に分類されるまさ土が二つある点興味を引かれる。また新しい型のものとして 205, 213, 215, 216などの発表を見るのは楽しい。

205 は在来型の一面せん断試験機全体を鉛直・水平に加振しながらせん断試験を行い、振動がせん断強さに与える影響は試料の密度の差よりはるかに小さく明りょうな関係を見いだせないという予想どおりの結果を得ている。これはかねてから探していた興味あるデータを提供している。

206 はサンプリング中の試料のかく乱の影響を標準砂を使って検討したもので、動的強度に対しては応力解放の影響は小さいが振動かく乱の影響は著しく大きく問題になると述べている。問題解決に関する「試料を試験室に運ぶのではなく試験室を現地に……」の一行は意味深長である。

207 はまさ土の繰返し三軸試験で今回は「繰返し三軸、単純せん断、更にねじり振動試験機を追加して得られた $G \sim \gamma$ 関係が抱束圧の補正により一致させ得ることを見いだしている。208 は液状化の恐れのある飽和したまさ土で繰返し回数、応力比および体積変化の関係を相対密度をパラメーターとして検討している。まさ土を対象としたこの二つの発表は整理の方法と同時に現場状況の記述があると、動的性質を問題にする必要のある現場条件を考える有効な情報になったと思われる。

209 は単純せん断試験の立方体供試体の境界面上に作用する応力成分が直接測定できる装置を使い、試験時の粘土試料中の応力状態やひずみ状態を測定している。各種せん

断試験の結果の解釈を進めていく上で重要なデータになると思われる。

210 はひずみ制御により非排水繰返し 載荷 - 排水 - 非排水繰返し 載荷の過程を繰り返す動的単純せん断試験で間隙水圧と繰返し回数の間の双曲線関係を見だし、間隙水圧と体積ひずみ関係の検討を行っている。

211 はフィルダムの斜面部の土で初期せん断応力を考慮した繰返し三軸試験を行い、発表者がかねてから提案している塑性ひずみ増分による動的破壊規準の妥当性を実証し、またダメージ理論に基づき塑性ひずみの定量化を試みている。この種の研究は更に実例を積み重ねていくべきなのだろうか。

213 はバルブを閉じればよいとされる試験機の非排水条件は機械の特性上十分でないと考え、意図的に有効応力の変化により給・排水が起こる装置を付けて実験を行っている。実験の計画がユニークで有益なデータになっている。214 は排水量が液状化に与える影響を実験的に検討し、非排水条件の場合に比しかなり差が出るがこの差は相対密度が大きいときに小さいこと、振動数の影響のあることを見いだしている。前の発表と同様差のあることを定性的に確認するならよいが、その結果を実用化するには先々多くの実験データが必要となる。

215 は Endochronic 理論により過剰間隙水圧の推定を試みるのに重要なパラメーターになる内部状態変数の特性を検討するための試みで過剰間隙水圧はせん断ひずみの集積量や累積した単位体積当たりのせん断仕事量で表されるなどの結果を得ている。新しい着目であるので一層の発展を期待したい。216 は過剰間隙水圧の増加の過程とひずみの増大の関係という結果的には前の発表と似た結果を用い、地震応答計算による地盤ひずみから間隙水圧を逆算している。しかも試料のかく乱の影響が比較的小さいという結果が得られるなど、現実的な手法なのかとも思われ、形式がまともなよいと思う。

全体をとおした討議の内容の一端を以下に述べるが、表現の都合上 () 内の数字で発表番号を、() 内のコメントで発表者の回答を推察したものを示す。排水条件の下でせん断試験に関し (214) 水圧の測定位置 (供試体下端) とその前提となる水圧の供試体内分布型 (一様分布) と、粘土の透水係数を測定している発表 (210) の載荷速度 (2 Hz) や供試体内の間隙水圧の消散に必要と考えられる時間 (4 分) など実験手法に関して質問があった。

単純せん断試験結果の補正に用いた拘束圧 K_0 (209) は初期値からせん断の進行とともに変化するようであるが (今後検討したい) との質問があり、更に K_0 の変化に関する発表 (209) に対しては土圧計の型 (ストレインゲージ型) とか測定位置 (側面中央) $K_0 \sim \phi'$ 関係 (今回は検討を行っていない) についてコメントを求められている。 $\Delta u \sim \epsilon_a$ 関係をまとめた (216) に対し両者は表裏一体の関係にあ

るのでこのように整理する理由(ひずみ 10^{-4} 以下では Δu が発生しないなどの判断材料として便利)が分からないという答えにくい質問があった。

基礎地盤コンサルタンツ(株) 安田 進

217 二方向の不規則荷重を受ける密な砂の液状化試験
(石原・関・永瀬・棚村)

218 飽和砂の不規則載荷に対する液状化強度(前田・藤井・龍岡・山田)

219 石灰の鉱さいの液状化特性(長尾・大窪・安田・熱田・斉藤)

220 不かく乱砂の液状化特性(土岐・三浦・中垣)

221 原位置凍結によって採取した密な砂の繰返しせん断特性(吉見・金子・時松)

222 地盤凍結法により採取された乱さないしらすの液状化特性(畑中・杉本・鈴木・宮田・朝倉・桑原)

223 液状化判定の一例(伊東・高田)

224 簡易式を用いた静岡県内の液状化予測(続報)(渡辺・岩田・安田・佐藤・大橋)

225 グラベルパイルによる液状化防止について(田中・国生・江刺・松井)

226 砕石ドレーンによる液状化対策の効果に関する一考察(佐々木・小笠原)

227 砕石ドレーン工法の間隙水圧消散解析に用いる体積圧縮係数について(大野・伊藤・大北)

本セッションで発表された論文は、すべて液状化に関するものである。これを内容から更に分類すると、(1)地震波のランダム性が液状化強度に与える影響を研究したもの、(2)サンプリング方法が液状化強度に及ぼす影響を研究したもの、(3)簡易予測方法の適用性について研究したもの、(4)砕石ドレーン系の液状化対策工について研究したもの、の4とおりに大別される。

217 および 218 はグループ(1)に属している。217 では水平面内で2方向にせん断力を加える単純せん断試験を行い、通常の1方向の試験結果と比較している。そして、実地震波荷重を1方向にだけ加えた場合に比べて、2方向に加えると、液状化強度が20~33%も減少するという結果を得ている。218 は繰返しねじり単純せん断試験装置を用い、地震波荷重と正弦波荷重(ただし1方向)との換算係数に与える密度の影響について調べたものである。そして換算係数に密度が影響することや、Seed(シード)らが提案しているマグニチュードと等価繰返し回数とは異なった関係が得られたことなどの結果を得ている。

グループ(2)には220~222が含まれる。220 ではブロックサンプリングで得た乱さない試料と実験室内で人工的に詰め直した試料との液状化強度を比較している。詰め直す方法として4とおりの試みが行われているが、そのうちの一つではブロックサンプルとほぼ同じ特性が再現できたことが示されている。なお、土の構造異方性が液状化特性に与

える影響についても研究している。221 は密な砂に対し、原位置で凍結サンプリングした試料とボーリング孔からサンプリングした試料との、液状化強度の比較を行ったものである。そして、前者の方が3倍程度の強度を有しているという、驚くべき結果が得られている。222 では、しらす地盤に対しても凍結サンプリングによって良質な乱さない試料が採取できることを示している。また、このしらすの場合乱した試料の液状化強度は、乱さないそれに比べて40~60%であることも示している。

第3のグループには219, 223, 224が属している。219 は石灰の鉱さいについて液状化特性を求めたものである。鉱さい堆積場建設基準では、一般の鉱さいに対してN値から液状化強度を簡単に求める方法が示されているが、石灰のような特殊な鉱さいでは上記の簡易式と異なることなどが示されている。223 は、ある地盤に対して道路橋、建築基礎など5種類の基準類で液状化の簡易判定を行い、得られる結果の違いを調べたものである。224 では静岡県内の11000本のボーリング資料を用いて、N値から液状化の簡易予測を行い、その結果をまとめて県内の液状化危険度図を作成した過程が述べられている。特に、密な地盤に関する最近の研究成果を取り入れて、岩崎・龍岡らの式を修正した式を用いたところに特徴がある。

最後のグループには225~227が含まれる。225 はグラベルパイルによる液状化対策効果を解析し、設計に用いる方法を研究したものである。グラベルパイルの効果の評価方法にはSeedらが提案している図表が既にあるが、これに対してグラベルパイルの透水性を考慮し、解析的に求め得る方法が導き出されている。226 では埋設構造物周辺に設ける砕石ドレーンに対し、対策効果を近似的に求める方法を考案している。また、ドレーンと地盤の透水係数の比が大きくなるにつれてドレーン内に生じる過剰間隙水圧が下がることを、この近似式を用いて調べている。227 では、砕石ドレーンの効果を定量的に評価する際に必要な体積圧縮係数を実験により求めている。そして、発生する過剰間隙水圧比によって体積圧縮係数は異なることなどが示されている。

個人発表が行われた後、討論にはいった。まず砕石ドレーンによる液状化対策に関し、例えば岸壁の裏込めに砕石を用いた場合に、周囲の砂が吸いこまれて目詰まりし、ドレーン効果が減少するのではないかとの意見が出された。これに対し、フィルターを設ければよいことや、実際にフィルターを設けた実験では問題がなかったことが発表者から述べられた。次に221に関して、原位置有効上載圧より小さな拘束圧で実験を行うとせん断応力比があがるようであるが、この場合も換算N値に拘束圧を考慮すればせん断応力比との関係が一本の曲線上にのるのではないかとの意見が出された。217 に対しては、最大せん断応力と最大せん断ひずみの方向は一致するのかとの質問が出され、密な

一般報告

場合にはほぼ一致するが、緩い場合には一致しないこともあると答えられた。討論の最後に、このセッション内の論文においても最大・最小密度試験方法がまちまちであることが指摘され、基準化されたものを用いて欲しいとの要望があった。

最後に、本セッションの締めくくりとして、座長から総括が行われた。これは各論文で特に重要と思われた結果のレビューを行うだけでなく、今後の研究に関するコメントもつけ加えて行われた。グループ(1)に関しては、静的なせん断の分野における主応力の回転に関する研究成果を取り入れることの可能性とか、乱さない試料に対してもランダム性の換算係数の研究が必要であろうこと、グループ(2)に関しては、凍結サンプリングの適用範囲を今後明らかにしてゆくことの必要性などがコメントされた。また、グループ(3)に関しては平均粒径または細粒分含有率だけで簡易式を作るのは問題があるのではとか、グループ(4)に対してはグラベルドレーンの透水係数が長期間保証されることの確認の必要性などがコメントされた。

埼玉大学 渡辺啓行

272 フィルダムの常時微動解析(菊沢・長谷川)

273 貯水状態における砂質材料を用いたアースダムの振動特性(田中・安中・谷・川口・向後)

274 土構造物の地震時変形量の予測に関する考察(谷口)

275 アースダムの地震時変形解析(桑野・石原・本田)

276 鉄道盛土への軟岩ずりの適合性に関する研究(その2)(草間・安田・堀井・西江)

277 盛土の地震時挙動と盛土の大きさとの関係(小倉・那須・匹本・村田)

278 堤防の耐震補強工法の効果に関する模型振動実験(佐々木・松尾・館山)

279 盛土模型振動実験における盛土の沈下特性について(荒川・木全・近藤・林)

280 大規模盛土模型の振動特性に関する実験的研究(荒川・木全・近藤・長谷川・林)

272~280はすべてフィルダムあるいは盛土の耐震性に関する研究であるが、本年度の特徴は277, 278, 280に見られるように盛土の耐震補強工法を目指した研究が現れたところにある。更に276のように耐震性の観点から盛土用の材料の適合性を検討した論文もあり、これも一種の耐震補強工法を目指したものといえよう。残る論文のうち274, 275, 279は盛土あるいはフィルダムの地震による沈下と変形を検討した論文であり、ほかの2編はフィルダムの挙動解析を行ったものである。

272はロックフィルダムの挙動を常時微動観測により解析することを試みた論文である。鋼橋等減衰の小さい構造物ではその有効性が証明されており、フィルダムでも喜撰山, 多々良木, 岩屋, 長野, 下小鳥, 新冠, 御母衣の各ダムで常時微動観測が行われ, 上下流方向, 堤軸方向, 上下

方向の低次卓越周期がほかの観測結果と一致する場合もあるとの報告が既にある。観測が比較的簡便に行えるので有利であるが, ダムによっては卓越周期を識別できない場合もあり, 堤体の観測と同時に岩盤上の観測を併行し入力特性を把握する必要がある。この論文では測定された減衰定数が30~40%と報告されているが, ほかの多くのダムの地震観測による値は大概10~15%であることを考えると過大である。このダム特有の値なのかほかに原因があるのか今後解明しておく必要があろう。273はアースダム模型を小さい実物と見なして動的解析と振動実験とを比較した論文で, ダムの非線形領域での動的解析の妥当性を検証しようとしたものである。ある程度の成功を見ているが, 模型の物性把握は通常大変困難であり, また討論にあったように時間縮尺の面で一般には分かりにくい問題もあり, このようなアプローチに加えて, 実物ダムの強震記録による検証も進められることが望まれる。274と275とは地震による沈下や変形を動的解析と室内実験とを組み合わせ予測する手法を示した論文で1971年6月のサンフェルナンド地震により破壊したサンフェルナンド下部ダムの代わりに建設されたロサンゼルスダムの設計に適用された手法を発展させたもので, 通常の慣用設計により決定された断面について耐震性の検証を行うための一つの評価方法として大変有効であり, ダムの変形能から見た耐震性評価という新しい概念が含まれている。279は, 盛土について, 実験的に地震による沈下特性を調べたもので, 先の2編の解析手法の検証にも適用されることが期待される。これらの変形予測は盛土やアースダムには有効であるが, ロックフィルダムのように表層すべりが全体の破壊の引き金になると考えられる構造物の場合には, すべり変形量の評価に基づいて耐震性を判定するような手法の開発が今後必要になってくるものと思われる。276は軟岩ずりを鉄道盛土に使用する場合の耐震性を模型振動実験とFEM解析とにより検討し, 材料としての有効性を確認した論文である。実験内容は, 残念ながら共振点前後の振動数特性が得られていないので地動加速度レベルと応答倍率との関係について明確に述べられていないのが難点である。今後この面の追加検討が必要であり, 更に振動破壊実験なども追加することにより有益な成果が得られるものと期待される。277は鉄道盛土の耐震補強を目的として盛土の幅と高さが耐震性に及ぼす影響をFEM解析により検討したもので, 目的は別であるが, 模型盛土の天端幅と高さを変えて振動実験を行った報告があり, 盛土幅による固有周期の変化, 高さによる減衰定数の変化等類似の結果が得られているのが興味深い。盛土の幅を広げること, すなわち, 天端幅を広げるとは, 理論的にはせん断くさびの固有周期から一層地盤の固有周期までの変化の一環として理解され, 盛土高さの増加に伴う減衰定数の増加は, 固有振動数と減衰定数とが逆比例関係にあるという古くから杭やダムの実測において認められた事

実から理解される。この論文では盛土下部地盤を含めた計算モデルのみの検討を行っているが、盛土単独の特性を別途調べ比較検討することにより、盛土下部地盤の影響との関連で耐震性補強効果が論じられるならば一層明解な結論が得られるものと考えられ、今後の展開が期待される。

278と280とは、盛土の耐震補強を地盤改良によって行う場合、その効果をFEM解析と模型振動実験とによって検討したものである。補強は主として盛土周辺の地盤について行われているが278では、盛土本体に補強ネットを埋設した場合の検討を行っている。沈下量の判定に用いているが、盛土のすべり量等に着目すればその効果は一層明確になることも考えられる。従来、盛土等の耐震補強工法に関する研究は、その重要性のわりに少なく、この種の研究が今後多く行われることが期待される。

総括

北海道大学 土岐祥介

動的問題および動的性質のセッションで報告された論文は87編で、これは全発表616編の1/7にあたり、土の動的挙動に関する問題への関心が土のせん断（85編）とともに最も高く、多大の努力がこの分野の研究に注がれていることが分かる。このうち後半で発表された194～227、および272～280の43編の内訳を見ると、液状化の判定法、間隙水圧の発生特性、および土の動的変形定数を研究したものがその半数を占めている。次いでアースダムや盛土の耐震性の検討、地震力のような繰返し応力による変形に関する研究がこれに次いでいる。これらは、現在我が国の土の動的問題に関する研究の主眼が、地震時における地盤および土構造物の挙動の解明におかれていることを示している。

また手法の面から見ると、半数以上が室内試験が中心となっており、室内試験にかなりの重さのある解析的研究を加えると、43編の80%（35編）が室内試験に依存している。理論的研究あるいは現地調査等、室内試験を伴わないものは8編で、動的問題の解明における室内試験の重要性、および解析的研究の限界と困難性を示している。

このような実状を受けて、動的試験法（機）に関する研究、および乱さない試料の採取法とその力学特性に関する研究が多数報告されている。一般に、室内試験、特にせん断試験においては、供試体の応力状態と実際の地盤内の応力状態の関係、試験方法や試験条件による結果の相違がまず問題となり、今回発表された研究はこのような基本的疑問に対応するために行われたもので、試験結果の評価のうえで重要な結論を引き出している。

一方乱さない砂のサンプリングは、以前は不可能と考えられ、原位置における密度を正しく求めることすら難しいとされてきた。しかし液状化現象を初めとする土の動的性質に関連する諸問題が、乱さない砂の必要性和、採取技術およびその吟味方法の進歩を促進して来た。その結果凍結

法をはじめ多くの新しい手法が開発され、その有効性が実証されつつあるが、一般に動的問題は微小変形のもとにおける挙動を対象とするため、多くの未解決の問題が残されている。今回の報告のいくつかはこれに応えたもので、実用上の価値が高い。

原位置にある土要素の力学的性質を正しく評価することは、土質工学の重要な目的の一つである。しかし原位置試験の精度は理論的解析には不釣合で、地盤の挙動の解析には、室内試験に依存せざるを得ない部分が多いのが現状である。今回最も発表数の多かった繰返し応力のもとにおける強度、変形、および間隙水圧の蓄積を対象とした研究のほとんどが実験を中心としたものであることがそれを物語っている。これらの研究は、応答解析に不可欠な動的変形定数、土構造物の安定性評価において近年注目されるようになった累積変形量の予測、および液状化特性の評価に重要な知見を与えている。特に近年非線形挙動の解析に特色を発揮している Endochronic 理論を用いた研究も報告されており、この分野における飛躍が期待される。しかし洗練された構成式に基づく研究においても、室内試験に依存する部分は大きい。

これに対し、模型実験は理論の検証の手法であるとともに小規模の実物実験で、動的挙動の検討に極めて有効な手段である。相似および境界の影響など宿命的問題が残されているが、近年大型の装置を用いた実験が行われるようになり、盛土の耐震性補強工法や液状化対策工法の効果、あるいは特殊材料の適用性の判定にまでその利用が拡大されて成果があげられている。

貫入試験および振動を利用した原位置試験は、新しい試験法や結果の解釈法が報告されており、地盤の動的性質研究の上で今後最も発展が期待されているものであろう。しかし、有効数字3けたの精度を期待することは、原位置試験の本来の姿から見て無理と考えられ、設計の便宜のため過度に多くのパラメータで補強することや、近似式への無理なあてはめは、本質を見失う可能性すら含んでいると考えられる。原位置で地盤特性を把握するこの有力な手段を、一層発展させたいと願うものである。

以上において繰返し、動的問題における室内試験に課された重要な役割について述べてきた。構成式の検証のような場合においても、均質で再現性の高い、物性値の明確な供試体は必須であるが、特に地盤の挙動の予測や、原位置試験との相関の検討、あるいは模型実験においては、供試体やそれを用いた試験の結果が、どこまで実際の挙動を再現しているかを吟味することは、極めて重要と思われる。最近供試体の作製法や変形履歴など多くの因子の影響が、特に動的性質に強く表れることが一般に認められてきており、この面における慎重さが、膨大な試験の成果の価値を更に高め、地盤の挙動の評価の信頼性を増すものとする。

研究の興味と領域は年ごとに拡大されつつある。在来の

総括・一般報告

成果を集約して未解決な問題を整理し、今後の研究の方向を明らかにすることは、現在の大きな課題と思われる。

(財)電力中央研究所 江刺靖行

228 模型軟弱地盤中の基礎の振動実験(その1)(西村・高橋)

229 模型軟弱地盤中の基礎の振動実験(その2)(西村・高橋)

230 杭の鉛直振動における杭と土の相互作用—実地盤における振動実験結果と理論解との比較検討—(堯天・水畑・福住・野添・井上)

231 道路橋基礎杭の地震時挙動観測(田蔵・清水・出羽・嶋田・時田)

232 模型地盤と杭基礎の連成振動実験(吉川・安倍・山田)

233 貯槽杭基礎の模型振動実験(頼・柳父)

234 杭基礎構造物の地震時挙動と連成振動解析(その1)(横山・泉・西橋・杉原)

235 有限要素法による杭支持建物の地震時挙動(多賀・富樫・飯場)

236 杭材の軸応力下における変形特性を考慮した宮城県沖地震における杭の被害推定(大和)

論文 228, 229, 230, 234, 235 は解析手法の検証を目的としたものである。228, 229 は杭基礎設計へ①応答変位法および②弾性ばり・質点系モデルの適用性を実証するため、室内振動実験、起振実験等を行い、両実験における異なった振動挙動を解析的によく模擬できることを示している。実験値との一致度を高めるため、①では水平載荷試験による値を若干割り引いている点、②では杭の剛性を2倍にしている点など、実設計への適用面では、解明すべき点がある。今後、非線形状態での①②の実証や動的群杭効果等についても得られている実験データをも有効に活用して解明することが期待される。

234 は①軸対称三次元 FEM モデル、②二次元 FEM モデル、③集中ばねマス系モデルを用い、円筒型の実貯水タンクの地震記録の最大応答値と比較を行って手法の実証を試みている。観測値との一致度は±30%の範囲内であることを示し、②の方法では二次元モデル化の場合の地盤の奥行について、タンク基礎径の2倍を用いると観測値に最も近い結果が得られることを示している。③ではモデル化に無理があつて観測値との一致度が最も劣ることなどが示された。今後は、やはり非線形状態での解析モデルの実証や動的な群杭効果の評価法についての研究の発展が期待される。

235 は模型振動実験を二次元 FEM モデルで模擬しようと試みたものである。地盤モデルの定数を種々変えているが実験値との一致度はあまりよくない。この理由には二次元モデル化しがたい模型地盤形状を用いている点や、ウレタンの物性の不明確さ、また振動実験を模擬する場合の底

面ダンパーの意味など考えられる。今後はモデル化しやすい実験を行って解析法の適用性の再検討を行う必要があると思われる。

230 は実鋼管杭の鉛直起振実験時の挙動を粘弾性波動論で模擬することを試みたものである。解析値は実験値とあまり良い一致をみていない。これは、杭先端地盤の評価等の地盤条件が解析に十分反映されていない点も理由の一つに考えられるので、今後は少なくとも地盤構造や地盤物性は十分調査吟味して理論の適用を試みる必要があると思われる。

論文 231, 232, 233 は杭の振動挙動の把握を目的としたものである。

231 は斜杭を含む杭基礎の地震時挙動を地震観測によって解明することを目的とした研究である。斜杭について、非常に貴重な観測資料が示されているほか、地層の異層境界(杭先端)での曲げ応力の集中など応答変位法の有意性を示すデータが示されている。なお、今後はトップヘビーな構造物や大地震時の設計への応答変位法等の適用性の確認データを得るため、観測の継続と観測値の分析結果の公開が期待される。

232 は模型杭の振動実験による杭-地盤系の非線形相互作用の解明を目的とした研究である。地盤が弾性域から非線形域へ変化する時の杭挙動の変化、制振効果の増加など貴重な知見が示された。今後は非線形域での埋戻し効果や群杭効果などの検討への発展が期待される。

233 は貯槽杭基礎の模型振動実験により、慣性力と地盤の振動による要素の分離を試みたものである。実験的に両者の分離を行い、トップヘビーな構造物の基礎杭に応答変位法を適用する場合の慣性力についての配慮の必要性が明示された。今後は液体の慣性力の評価法等に研究が進展することが期待される。

236 は地震による杭の被害分析を行ったもので、宮城県沖地震時の杭の被害状況を説明するため、軸力が負荷された杭の破壊について考察を行っており、コンクリートの圧縮破壊ひずみが一定であるため、曲げに対するひずみの裕度は軸力の増大につれ結果的に減少する傾向が生じること、したがって軸力が最大となる杭に水平力や曲げモーメントが集中して曲げ圧縮破壊を生ずる可能性があることを示している。この結果、これまで検討された震害分析を一步進めたものとして評価される。この論文については、副座長(建研 杉村博士)からも震害を模擬した杭の破壊実験について図によって説明され、発表論文についてコメントが述べられた。今後研究結果の実設計への反映が期待される。

以上、本セッションでは、応答変位法の杭基礎設計への適用性について示唆に富んだ多数の研究発表が行われた。地盤が非線形化する場合への適用性、特に群杭効果の評価など今後の研究の発展が期待される。

山口大学 大原資生

237 地震時における飽和砂地盤の等価線形有効応力解析
(山内・橋詰・釜瀬・兵動)

238 有効応力に着目した液状化予測手法に対する考察
(栗林・河邑・野瀬・市川)

239 砂地盤の二次元液状化解析法について (阿部・岡・山岸)

240 密な砂地盤の動的強度と N 値 (国生・吉田・長崎・佐々木)

241 振動式貫入試験機による原位置試験例 (佐々木・伊藤・小笠原)

242 簡易手法による液状化を考慮した基礎-地盤系の地震応答解析 (藍田・杉戸・中村・森本・大橋)

243 杭構造物周辺地盤の液状化解析 (石川・社本)

244 衝撃力の粘性土に及ぼす影響 (朝日・吉原)

245 粘性土の挙動に及ぼす衝撃力の影響 (佐原・石原・神野)

246 敷砂上の落石の衝撃現象の考察 (古賀・佐々木)

今回担当する発表は 237~246 の 10 編である。その中の 244~246 の 3 編以外はすべて地震時の飽和砂層の液状化予測を目的とした研究である。それらを方法の違いによって分けて述べれば次のとおりである。

(1) 地震動によって生じる砂層中の間隙水圧上昇量、有効応力の変化を解析し、液状化予測を行っているのが、237, 238, 239 の 3 編である。

237 では、有効応力法による液状化解析に等価線形化法を適用して計算を簡単にし、二次元問題への拡張を容易にする方法を提案し、それをケーススタディとして杭がある場合とない場合とについて計算した結果を報告している。

238 も有効応力法による解析であるが、この研究では地盤内の透水を考慮した計算を行っている点が 237 と異なる。間隙水圧の上昇速度、透水の効果について検討を加えるとともに、振動砂箱を用いての実験結果からは砂層に与えられるエネルギー供給率を定義し、液状化の発生との関係を考察している点がやや異色である。

239 は砂の構成式と Biot (ビオ) の二相混合体理論を用いた有効応力解析で透水を考慮した地盤応答解析法を提案し、二次元液状化解析を試みた結果を報告している。構成式に共同研究者の一人が既に発表した繰返し載荷のもとでの砂の構成式を用いている点に特色がある。結果は、地震時の有効応力および間隙水圧の時間履歴を予測するのが可能であるとしている。

これらの解析法では、いずれも間隙水圧の上昇速度の仮定が問題であり、239 の発表では二相混合体の運動方程式を立てるに際し、固相と液相の加速度の差が小さいと仮定したことについて討議が集中し、この問題の数理解析の難しさが改めて認識された。

(2) 240, 241 は地盤の N 値の測定による液状化予測につ

いての研究発表である。

240 では、緩い砂地盤についての簡易液状化判定方法にならって、 N 値を密な砂地盤の液状化の判定にも用いることができるかを調べている。すなわち大型円形土槽中に作った密な飽和砂層を用い、 N 値とそこより採取した乱さない供試体の三軸試験から求めた動的強度とを比較し、両者の関係を直接的に求めた結果を N 値による判定基準確立の基礎資料として報告している。

241 はオランダ式貫入試験機の先端コーン直上部にパイプレーターを封入した原位置貫入試験機を試作し、これを用いて地盤の液状化を予測しようとするものである。すなわち地盤の静的貫入抵抗と動的貫入抵抗を測定し、両者の差の大きさによる液状化予測の可能性を報告したものである。砂地盤の液状化を原位置試験結果から予測することは砂の乱さない試料を採取するという手間を要する室内試験からの開放のためにもぜひ必要であり、今後ともこの種の資料の蓄積と新しい試験機器の開発が期待される。

(3) 地盤の液状化に対する杭基礎の影響についての報告が 242, 243 である。

242 では、厳密な有効応力解析とは異なり間隙水圧が最大となった時点での地盤剛性を求め、これを既往の地震応答計算プログラムに入力するという方法で液状化時の地盤-杭系の応答を求めるという簡易的な有効応力解析を行った結果についての報告であり、243 では構造物の周辺地盤の液状化解析を行い、杭近傍の地盤の間隙水圧上昇は地震主要動終了後に生じるので、必ずしも地震主要動継続時に杭近傍の地盤が液状化していると考えない必要がある場合がある。このため、杭基礎の設計の際に、液状化の発生が予想される地盤の支持力を無視しなくてよい、との興味深い結果を報告している。

これらの報告は、いずれも杭基礎は液状化によって生じる被害の軽減に対し有効であるということを示しており、237 の報告とも共通する。杭基礎や建物周辺に止水壁がある場合は周辺地盤のせん断変形が妨げられるので、間隙水圧の上昇がおくれ、液状化の発生が軽減されとの推測も成り立つ。この問題は今後早急に明らかにされるべき問題である。

(4) 衝撃力による粘性土の挙動を調べた研究が 244, 245, 246 である。244 は動圧密工法の基礎的な研究であり、三軸圧縮試験で、その供試体に軸方向に衝撃荷重を加え、その強度や間隙圧の変化などを測定している。

245 は、衝撃による粘性土地盤の改良メカニズムを明らかにするため、L. Menard (ルイ・メナール) が提案した“クラックの生成による透水性の向上”という考えを土槽の実験で検討した結果の報告である。

また、246 は衝撃力の緩衝材としての砂層の作用を解明するための研究であり、各重錘の衝撃現象の相互の関係を適切なモデルを用いて統一的に解釈することを試みた結果

一般報告

を報告している。

衝撃は地震動より、その作用時間が短いので、衝撃力が作用したときの土の挙動を明らかにすることが実験結果の実際地盤へ適用する場合に必要となるであろう。

建設省 岩崎敏男

247 土構造物-地盤系の震動解析(佐藤・砂坂)

248 地盤の非線形性を考慮した地震応答解析に関する一検討(今井・松本・吉清)

249 地盤の非線形地震応答解析に与える応力-ひずみモデルの影響(田中・有沢・吉田・石原)

250 一次元応答解析結果に及ぼす動的パラメータの影響(森本・鈴木)

251 ライフライン工学のための見掛け波動速度と地盤分類(高田・上野)

252 表面波による地盤のひずみに関する考察(泉・岡田・志波・西橋)

253 地震時地盤ひずみの解析(川島・田村・相沢・高橋)

254 川崎港海底トンネルでの地震応答特性(清宮・横田・西沢)

255 杭打ちによる地盤振動に関する模型実験(花里・佐藤)

256 走行荷重による二層地盤の応答解析(平井・柳沢)

257 円筒型構造物に作用する地震時粒状体圧について(泉・杉原・志波・岩野)

258 旋回抵抗に関する土質力学的考察(杉山・近藤)

上記12編の論文のうち、地震時の地盤の挙動に関するものが8編(247~254)、人工振源による地盤振動に関するものが2編(255, 256)、粒状体の地震時圧力に関するものが1編(257)、および装軌車両の旋回抵抗に関するものが1編(258)あった。

247は軟弱な水平成層地盤上の三角形状堤体の地震応答を波動理論を適用して算定したものである。地盤-土構造物系の地震応答は地盤構成の影響を大きく受けること、特に地盤の浅いときは減衰定数が小さくなることなどを指摘している。本計算に導入している減衰定数の式、および減衰定数と変位関数の関係について討論があった。今後は、用いた各種の定数等の設定条件の妥当性について、更に検討を加えることが望まれる。

248はフーチング剛体基礎について地盤の非線形性を考慮して地震応答解析を行ったものである。従来から等価線形法を大地震時に適用すると共振現象が起こり、応答が過大となり実際の挙動と一致しない懸念が指摘されていたが、ここでは時々刻々の土の性質の変化を考慮する逐次積分法を適用して地盤-構造系の地震応答を解析しており、今後の方向を示唆したものとして注目された。今後は、大地震時の実測結果または実験の結果と比較研究することが重要と思われる。

249は地盤の非線形応答解析に多用されている Hardin-

Drnevich(H-D) モデルと Ramberg-Osgood(R-O) モデルの2モデルを逐次積分法により比較検討したものである。試算検討からH-Dモデルは大ひずみ時には骨格曲線を一致させることが難しく、大地震時を対象としたモデルとしては無理があること、R-Oモデルではひずみが応力の関数となるので計算時間の難点があるが、H-Dモデルより適用性が大きいなどの指摘を行っている。

250は現在多用されている地盤の等価線形応答解析(一次元)において、せん断変形係数のひずみ依存性($G/G_0-\gamma$ 曲線)と減衰定数のひずみ依存性($h-\gamma$ 曲線)が応答結果に与える影響について実用的な検討を行っている。これによると、両者の曲線の平均値に対して上限値、下限値を使った場合、良好な地盤(1種地盤)では結果に大差は出ないが、軟質な地盤(4種地盤)では20%程度の変動がある。この発表に対して、応力-ひずみ関係に影響を受けない方法でパラメータを決める方法を検討してはとの議論があった。

251は地中埋設管の耐震解析に用いる地震動の見かけの波動速度を地盤定数との関係で検討したものである。地盤の卓越周期 T の関数として見かけの地震動伝ば速度 C を表すと、ガス協会指針等でみられるように T が大きくなれば(つまり地盤が軟弱になれば) C も大きくなる傾向が一般的とされている。この傾向を認めると地中管路の地震時応力は軟弱な地盤ほど小さくなり、実際の震害例と矛盾する。この報告では地盤種ごとに C を検討し、 C は T にかかわらずほぼ一定値($C \approx 100 \sim 200$ m/s)をとるという注目に値する結果を示している。今後とも検討を進め、地盤条件-伝ば速度-波長-地盤ひずみ-管路ひずみの合理的算定法が確立されることを期待する。

252は埋立地盤や盛土における地震時の表面波震動の影響を解析的に検討したものである。表面波は距離減衰が小さく遠距離に及ぶ可能性があるため、今後十分の検討が必要と考えられる。その際表面波を考慮する必要性のある構造物の種類およびその設計手法の提案が望まれる。

253は比較的狭い地区に集中して地中および地上地震計を配し、地震動加速度を測定し、複数地点間の相対変位から地盤ひずみの時刻歴を算定したものである。これより、地盤ひずみの最大値は地震動の最大速度の関数として表示しうること、地表面付近のひずみは深さ50m付近のひずみに比して2倍程度の大きさであることなどが示されている。伸縮ひずみとせん断ひずみの大小関係について質疑があり、現在までの測定では伸縮ひずみより、水平面内のせん断ひずみの方がやや大きい結果が得られているが、今後更に大振幅の測定を行い、精度を高めることが必要との回答があった。

254は軟質地盤の海底に施工された沈埋トンネルにおける地震動の観測(加速度計、鉄筋計、ひずみ計)の結果を解析したものである。現在までの実地震の観測からは、表

面波がトンネルに与える影響よりも実体波の影響の方が大きい地震が多いが、逆の場合の地震も1回あった。今後、更に大きい地震動の観測記録が得られれば海底トンネルの耐震設計の合理化に資する結果が得られるものと期待される。

255 は建設工事における杭打ちが引き起こす周辺地盤での振動を模型実験により究明しようとするものである。ローム層と砂層からなる2層地盤の模型地盤での杭打ちの模型実験から、杭先端の地盤の性質（特に杭先端での土圧）が周辺の地盤振動に与える影響が大きいことを指摘している。今後は、実地盤における実物大規模への発展が期待される。

256 は列車等の走行する荷重から発生する地盤振動を理論解析から算定したものである。2層地盤を仮定して各種の解析を行い、走行速度と鉛直変位との関係等を示し、振動特性の傾向が示されている。今後は、実測との対比を行うことにより、実用化の方向で研究を進めることが期待される。

257 は粒状体を入れた円筒サイロの耐震設計上重要となる粒状体の地震時圧力を理論解析から算定したものである。この解析では粒状体の非線形性を考慮した理論展開を行い、従来の線形性を仮定した解析より地震時の土圧は相当小さくなるという注目すべき結果を提示している。

258 はブルドーザー等のキャタピラーを有する装軌車両が軟弱地盤上で旋回するときの土の抵抗力を模型実験により解明しようとするものである。この実験から、旋回時は横方向けん引時より抵抗は小さいこと、沈下量と排土長から求める従来の旋回抵抗式が適用可能であることが指摘されている。

以上247～258の12編の全体を通して実務に用いる成果を得るためには、地盤挙動の本質を見つめる理論解析と模型実験に加えて、実地盤と実施設に対する実測結果に基づく検証が不可欠であるといえよう。

京都大学 土岐憲三

259 基盤の深さが大きく変化する地盤の震動特性について（田蔵・清水・嶋田・木全）

260 大阪平野における地震動の増幅特性（大場・村井）

261 谷を埋め造成された地盤の常時微動観測（富樫・横井）

262 長周期微動観測による濃尾平野の振動特性に関する総括的研究（多賀・富樫・谷口・宮崎）

263 傾斜基盤を有する地盤の震動解析（岩野・横山・泉・石田）

264 丘陵地を造成した地盤の振動特性（横井・富樫）

265 丘陵造成地盤の地震時挙動に関する解析（佐武・浅野・鈴木・原）

266 強震記録よりみた地盤の地震時増幅特性（神山・松川）

267 地盤の地震時安定解析に用いる等価震度（山崎・今津・黒田）

268 沖積層地盤上家屋の地震時危険度の予測法（栗原・堀田・浅田）

269 木造家屋被害と地盤の地震応答との相関性（渡辺・岩田・森本・荒岡）

270 木造家屋の震害と微地形および地盤条件（渡辺・岩田・佐藤・由井）

271 地震に対する土地利用適性評価（靱倉・安田・長谷川・船山）

今回の研究発表論文616編のうち、34編が動的性質、53編が動的問題として分類されている。一方、5年前の昭和53年度の発表会では全論文数が363編、動的性質が38編、動的問題が23編であった。すなわち、全論文数は約70%増えているが動的性質は4編減り、動的問題が約2倍強となっている。本文は全体の総括ではないから詳細には立ち入らないが、土質工学の研究分野における動的な問題に関する動向を表して興味深い。

当セッションでは13編の論文発表が行われたが、そのうちの6編は地震観測、もしくは観測結果に基づく地盤震動の解析に関連するものであった。地震時における地動の観測は、それが現実に起こりつつある自然現象を把握することであるから、地震動の特性をとらえ、これによる地盤の震動性状を知ることを目的とする耐震問題においては、大変重要なことであり、その成果はこの分野の研究に対して貴重な資料を提供するものである。したがって、地震動の観測とそれに基づく研究は大いに推奨されるべきであり、こうした方向の研究がますます盛んになることが望まれる。しかしながら、観測には多大の経費を要することと、観測施設を設置しても室内実験のようにただちに成果が得られるものではなく、解析に供しうる記録を得て、それらから普遍性のある結論を引き出すまでには多くの年月を要することから、その意義に対する研究者の周辺の理解を深めるような努力を動的問題に関わる者は常日ごろから払わねばならないであろう。

観測結果に基づく地盤震動の解析においては、従来からも弾性波動の次元重複反射法に基づく方法が用いられ、多くの場合には観測記録を説明しうるものとされてきた。今回の発表においてもこの方法による解釈が試みられ、成功しているように見える場合もある。しかしながら、この方法が現象をよく説明しうるのは一様な成層地盤の場合であり、基盤が傾斜しているような場合には必ずしも観測結果と理論波形が合致しないことも知られており、今回の発表でも同様の報告が行われている。一様な地盤での地震動があまり強くない場合の観測記録は次元の重複反射理論で説明できることは既に多くの例で確かめられているからには、不整形地盤や急変地盤のようなより複雑な構成を持つ地盤での挙動の解明に結びつくような観測とその解析な

一般報告・総括

どが高い評価を受けるであろう。

今回の発表においても、このような不整形地盤での挙動に関するものが、観測によるものと数値シミュレーションによるものを合わせて5編含まれている。これらの中には基盤の深さが急変する地盤での震動特性を、基盤までの深さが場所によって異なるのみであって、その場所での地盤震動は一次元の重複反射で説明してしまうものも見られる。しかしながら、基盤深さが急変するような地盤では、水平距離がわずかにしか違わない場所でも震動の大きさや被害の大きく異なる例は少なからず報告されており、このような現象は一次元の重複反射理論では説明しえないものであり、少なくとも二次元的な広がりを考慮した解析が必要である。しかしながら、この場合には解析モデルの側方での仮想境界の取扱いが問題となり、複雑な解析が要求されることになり、一次元の重複反射法に匹敵するような簡便な二次元解析法の開発が望まれるところである。

13編の論文発表の中に、強震時の地盤震動の非線形挙動を論じたものが見られないのは少し残念である。一次元の波動理論に基づくコンピュータープログラムの代表であるSHAKEなどでは、地盤の非線形挙動を考慮しているが、それは剛性や減衰定数をひずみレベルに応じて変化させており、基本的には等価線形化法に属するものである。地盤内のひずみレベルが低い場合にはこのような方法でも観測結果を説明しうるが、ひずみレベルが大きな場合には必ずしも観測波形と理論波形とが合致しないことが指摘されている。現実の地盤においては、軟弱な地盤ほど被害が相対的に大きくなることが経験的に知られているが、剛性のひずみ依存性を考慮した解析では、強い地震動に対しては軟弱な地盤での応答震度が低くなる傾向にある。等価震度の問題を扱った267はユニークな着想に基づく興味ある研究ではあるが、これもSHAKEによる計算が基本となっている。しかるに、この研究は大地震時における地盤内の応答震度を取り扱っているにもかかわらず、等価線形化法を前提としているところに矛盾が感じられる。非線形挙動を直接対象とした解析から等価震度の考えが提示されれば実際の問題への適用のみちが開かれるものと思われる。

地盤の震動特性と被害との関係を論じたものが4編発表された。いずれも地盤の震動特性と被害との関係をあらかじめ調べておき、将来の地震時の挙動を予測しようとするものである。こうした手法は地震防災計画の策定などに関連して従来からも行われてきた方法であるが、非常に広い地域を対象としなければならないことから、有限の点で対象領域全体を表現せざるを得ない。このとき、一つの点でカバーする領域がどの程度であるべきかについてはほとんど検討が行われていない。換言すれば、こうした予測図の作成に当たって地盤震動の局所性をどの程度まで取り入れればよいかをまず明らかにしておくべきであり、またこうした努力が行われてよい時期ではないかと思われる。行政

施策の必要性から行う予測とは別に、そこに取り入れられるべき諸要因についての検討や得られた結果の信頼度に関する検討などが必要な段階にあるように思われる。

総括

山口大学 大原資生

228~280までの発表は、動的問題といっても多岐にわたっている。発表数の多いものでは、その1は杭基礎、または杭基礎をもつ構造物の挙動に関するもので、これに関する発表は11編、その2は液状化予測、土構造物およびライフライン系の安定の研究など、その目的は異なるが、地盤の地震応答解析に関するもので、これに関するものが13編ある。

このことは、動的問題と一般にいわれる分野でもこの二つの問題の解明に関心が集まっており、現場からの要請の強さを表していると受けとってよからう。

特に、杭基礎については、前回の発表が3編であったことを考えると、ほかの基礎に比して簡便な杭基礎の耐震性に対する関心はかなり高くなったといえる。

このためには、構造物-杭-地盤系の地震時挙動の解明がいそがれる。その方法として、応答変位法、弾性ばり・質点モデルなどが用いられている。杭基礎については、そのモデル化もさることながら地盤との相互作用に必要な力学的諸定数のひずみ依存性の取扱いが大きい問題であり、このことは地盤の非線形性の検討であり、大地震時の耐震性を考える上から必要である。そのためには、既設の構造物の地震時の挙動の観測とその解析が引き続いての課題として望まれる。

地盤の地震応答解析では、その目的によって地盤の加速度(応力)を必要とする場合と地盤のひずみを必要とする場合とがある。

前者は地盤の地震動による増幅特性や非線形性の影響を求めることと地盤の液状化特性を求めるのを主目的としているものが多く、後者ではライフラインの耐震設計を目的としている。

また、この分野では近年、造成地に震害が集中して生じることから、盛土部や傾斜基盤をもつ表層厚さが複雑に変化している地盤の震動特性についての発表も多くなっている。

応答解析の方法には、一次元重複反射理論、等価線形法、FEMなどがあるが、重複反射は以前より成層地盤ではその成果は期待できるが、傾斜基盤の場合などへの適用には特別な配慮が必要であろう。

等価線形法は計算が比較的簡単で、その適用への配慮の方法によっては、実際の挙動をかなりよく説明できることが分かっている。

最近では液状化予測に用いるにも、有効応力の減少による地盤定数の変化を考慮した計算、二次元問題への拡張への試みも行われており、今後の発展が更に期待される。

構造物-地盤系のモデル化の忠実度から FEM やばね・マスモデルは有利であり、今回の発表にもみられるように、傾斜基盤をもつ地盤、盛土のある地盤、造成地盤、ケーソン基礎などの解析にかなり用いられている。

地盤の応答解析がいずれの方法で行われるにしても、土の応力-ひずみ関係の有効応力との関係およびひずみ依存特性を明らかにする必要がある。特に、大ひずみの場合を目標にして今後の研究が進められるべきであろう。そのためには、室内試験ばかりではなく、実測結果の検討を考えるべきであり、少なくとも大型振動台によるモデル実験が推奨される。

造成地などの震動特性の調査に常時微動を用いての研究があるが、この方法は過去のデータの蓄積から一応の結論は得ることはできる。しかし、この方法には得られた結果と大地震動との関係に疑問がないわけではない。

造成地についても、この点を自然地盤と同じように考えてよいかを今後は明らかにする必要があるだろう。

その他、液状化予測を原位置試験で求めようとする発表

が2編あったが、この方法は今後、ぜひ確立して欲しい研究の一つである。

将来は液状化予測のためだけでなく、地盤応答解析に必要な諸定数も原位置試験で求め得るようになることが望ましい。

最後に、地震動と家屋の被害との関係の発表が4編あるが、家屋の被害と地盤震動特性との関連については従来から検討が行われ、地域防災計画の策定では必要とされている。しかし、先にも述べたように、造成地などの特殊な地盤も自然地盤と同じように取り扱いうるのかといった地盤の特殊性への配慮の程度を、地震被害との比較などから明らかにしなければならない。

人工的な要因による地盤振動の問題は公害防止の面でも重要な課題の一つであるが、距離減衰などに関する定数を地形、土質条件から求めるには、まだかなりの困難があるう。

動的問題における今後の課題を一言でまとめれば、研究結果の実測結果に基づく検証ということであろう。

熱的性質

一般報告

(株)精研 生頼孝博

- 281 土の伝熱特性について(福田・村上)
- 282 青森県における道路の凍結深さについて(柳沢・須藤・長谷川・菊地)
- 283 置換厚と凍結深さに関する研究(武市・久保)
- 284 断熱工法による道路の凍上対策に関する研究(久保・坂上)
- 285 火山灰質粘性土の凍害防止に関する基礎的研究(福田・桜田・小川・笹)
- 286 セメント混合による凍上・解凍沈下抑制効果(高志・生頼・山本・岡本・伊豆田)
- 287 完全凍上発生時における凍上速度について(中沢・武田)
- 288 凍土内氷晶析出分布と水分移動に及ぼす拘束応力の影響(高志・生頼・山本・岡本・伊豆田)
- 289 飽和した粘性土の凍上性に及ぼす先行荷重の影響(丁戒)
- 290 凍結土の力学特性におよぼす塩分濃度の影響(緒方・片岡・安田)
- 291 凍結砂の力学特性に関する実験的研究(足立・八嶋・高橋)
- 292 凍土の曲げ特性について(田中・深沢・塙)
- 293 凍土の動的性質について(添田・西牧・木下・福田)
- 294 温度変化を考慮した応力・浸透連成解析について(大西・柴田・酒井)

295 LNG 地下タンク周辺地盤の挙動に関する模型凍結実験(片岡・緒方・安田・玉井)

当日の最初に発表論文15編が北大低温研の福田氏によって未凍土の熱的性質281, 294, 道路の凍上対策282, 283, 284, 285, 凍上機構・凍上力・凍上抑制286, 287, 288, 289, 295, 凍土の力学的性質290, 291, 292, 293の四つに分類された。

281 は不飽和試料土の温度拡散率および熱伝導率の乾燥密度および含水比依存性を非定常オングストローム法を用いて測定した報告である。固相液相の二相系混合材料の研究の多さに比べて、気相を含んだ三相系混合材料の研究は少ないので貴重な報告である。一般に、供試体によるデータのばらつきと測定法による誤差が存在するため熱定数値を評価することは難しい。ほかの測定法との比較などによる測定法の確立と凍土への展開などを期待したい。

294 は地盤の浸透現象と変形相互作用に関する数値解析法に温度を持ち込む方法を提案し、その計算例を報告したものである。できるならモデル実験あるいは実測値との比較などでこの手法の有効性が検証され、更に凍結の影響にも拡張されることを期待したい。実用に当たっては土の熱定数も重要になり、281の研究とも結びつくことになる。

地盤(未凍結)の熱的性質の研究は地下鉄・地下街などによる地盤の熱平衡かく乱、地中送電線管の放熱、太陽エネルギーの地中蓄熱など今後を目標とした大きな課題の一つといえよう。

282 は多くの観測点での長時間にわたる実測値であり、凍結指数の小さい地域での置換厚に関する問題点を指摘し