

III-A 106

阪神大震災におけるケーソン岸壁周辺まさ土地盤の動的強度特性と破壊メカニズムの評価

山口大学大学院	学生員	○松下純子			
山口大学	正員	兵動正幸	中田幸男	村田秀一	
山口大学大学院	学生員	荒牧憲隆			
日本国土開発（株）	正員	徳原裕輝	菊地慎二		

1. まえがき

阪神大震災の発生は、神戸の広範囲にわたる臨海埋立地に大きな液状化被害をもたらした¹⁾。その中でもポートアイランド、六甲アイランドの人工島の被害は甚大であった。沖積粘土層上に埋立構築されたこれらの人工島の埋立て材料として、六甲山系のまさ土が用いられ、ケーソン岸壁直下の置換砂においても同じまさ土が使用された。まさ土は良質な盛土材料と評価され、海浜の埋立材としても広く利用されている。一方、ケーソン等、構造物下の地盤は初期せん断応力の作用下にあると考えられるが、その様な環境下における、破碎性を特徴とするまさ土の動的挙動については明らかでないのが現状である^{2),3)}。本研究は種々の初期せん断応力状態におけるまさ土の静的・動的せん断試験を行ったものであり、得られた結果を用いて、崩壊したケーソン岸壁の地震時挙動を円弧すべり法による安定解析⁴⁾によりで評価を行ったものである。

2. 試料および試験方法

用いたまさ土は、六甲アイランド北側岸壁付近より採取したものである。実験には 2mm ふるい通過分 ($G_s=2.648, e_{max}=1.248, e_{min}=0.565, U_c=12.0$) を試料として用いた。供試体は水中落下法により緩詰め(初期相対密度 $D_{ri}=40\sim50\%$)および、密詰め($D_{ri}=80\sim90\%$)状態で作成した。この様な供試体に三軸室において脱気水を通水した後、100kPaの背圧を加え B 値 0.95 以上の飽和供試体とし、平均有効主応力 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ となる様、等方および異方圧密(初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma'_c=0.0, 0.1, 0.2, 0.4$)を行い、非排水状態で静的試験(ひずみ速度 $0.1\%/min$)および動的試験(周波数 0.1Hz)を行った。また比較検討のため、各図には豊浦標準砂を用いて行った試験結果についても併記している。

3. 試験結果および考察

図-1 に緩詰めおよび密詰めまさ土の非排水三軸圧縮・伸張試験により得られた有効応力径路を示す。緩詰めの場合、伸張および圧縮側に共に収縮挙動を示し、最終的に *steady state* に至っていることが観察できる。密詰めの場合も、圧縮・伸張側に共に緩詰めと挙動にほとんど差が無い。また高い密度にも拘わらず豊浦砂の $D_{ri}=70\%$ と比べると *dilatative* な挙動がさほど現れず、せん断強度があまり発揮されていない様子が観察される。図-2 に繰り返し三軸試験により得られた緩詰めおよび密詰めまさ土の液状化強度曲線を示す。いずれの相対密度の試料も液状化強度はほぼ同程度であ

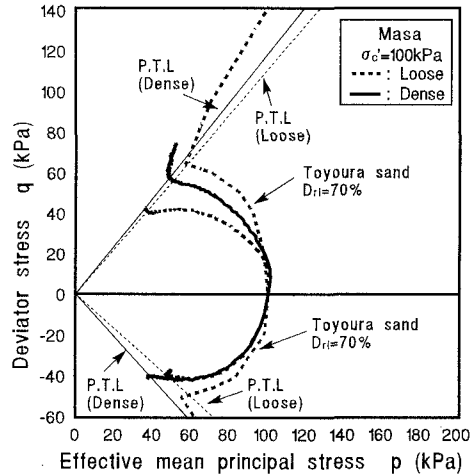


図-1 非排水三軸圧縮・伸張試験における有効応力径路

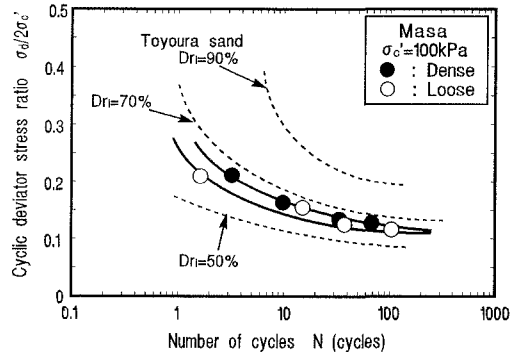


図-2 液状化強度曲線

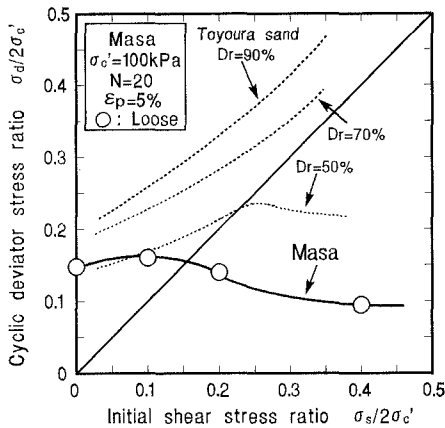


図-3 繰返し20回で破壊を起こすに必要な繰返し応力比と初期せん断応力比の関係

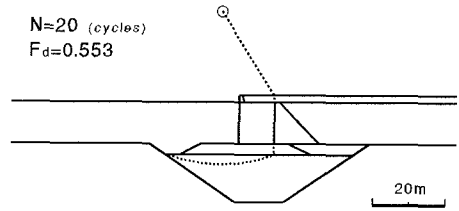


図-4 地震時安定解析結果

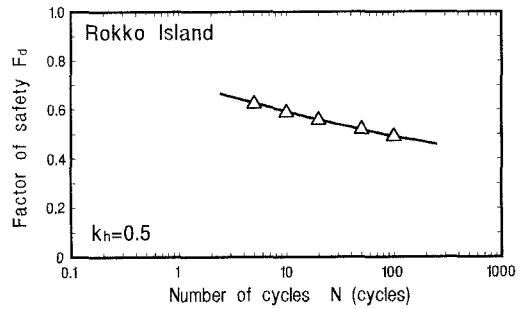


図-5 動的安全率と繰返し回数との関係

り、豊浦砂の $D_r=50\%$ から 70% の強度線の間位置している。このように、用いたまさ土は、粒子が脆弱で圧縮性に富み、静的試験結果と同様、動的強度においても相対密度の違いによる差は非常に小さい事が確認できる。次に緩詰め試料について初期せん断応力下の繰返し三軸試験結果について述べる。初期せん断応力下においては繰返しせん断により、軸ひずみの片側への残留による破壊が生じる。これを繰返しせん断破壊と位置づけ、圧縮側ピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=5\%$ を破壊と定義した。図-3 は繰返し回数 20 回で破壊を起こすに必要な繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma'_c$ と初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma'_c$ の関係である。豊浦砂密詰め試料とは対照的に、まさ土は初期せん断応力比の増加に伴い強度が減少する傾向にある。次に、これらの結果を用いて行った円弧すべり解析結果について示す。図-4 にケーソンを含むすべりの中での最小安全率を表す円弧を示した。ケーソンと裏込めの境界にテンションクラックを生じる円弧が最小安全率となっており、動的的安全率は $F_d=0.553$ とかなり低い値を示している。このことから、ケーソン岸壁付近のまさ土は、ケーソンの自重による初期せん断応力により地震時に繰返しせん断抵抗が低下し、せん断破壊を起こしたものと推察される。図-5 は上述の円弧すべり解析結果より得られた動的的安全率 F_d と繰返し回数 N の関係を示す。この図から今回の地震の主要動における繰返し回数が 10 回以内であったことを考慮すると、動的的安全率は $F_d=0.6$ 程度と見なすことが出来る。

4. まとめ

まさ土の静的および動的せん断強度は相対密度にあまり依存しないことが確認された。また、まさ土は初期せん断応力の増加に伴い繰返しせん断強度が低下することが確認された。その傾向は豊浦砂とは逆の傾向を示すものであり、まさ土の脆弱な粒子構成に起因しているものと考えられた。地震時安定解析では、ケーソン背後から置換砂層内ですべりを生じ、その時の動的的安全率は $F_d=1$ を大きく下回った。

[参考文献] 1)石原・安田・原田：土質特性と地盤の挙動，土木学会誌 vol.80, pp50～53, 1995-7 2)兵動・安福・村田・山本・丸山：まさ土の液状化特性に及ぼす拘束圧の影響，第 26 回土質工学研究発表会講演集，vol.1, pp841～842,1991 3)井合：液状化による被害，基礎工 vol.23, No.12 pp17～21, 1995 4)兵動・徳原・菊地・荒牧・松下・藤井：阪神大震災におけるケーソン岸壁周辺まさ土地盤の安定性の評価，第 31 回地盤工学研究発表会（投稿中）