

2005 年福岡県西方沖地震での液状化判定結果に対する実験的検証

九州工業大学大学院	学生会員	○田村 英佑
九州工業大学工学部	正会員	永瀬 英生 廣岡 明彦
元九州工業大学工学部		森野 隆司
東洋建設（株）	正会員	柳畑 亨

1.はじめに: 福岡県西方沖地震は福岡県を中心に人的被害とともに構造物等の損壊などの被害をもたらした。特に、福岡市は平野部に乏しいなどの理由から海面を埋め立てて工業用地域などを発展させてきており、今回の地震においては沿岸部主に埋立地に液状化被害が集中している。また、埋立地盤では液状化が発生しているのに対して沖積地盤では液状化が発生しておらず、その原因は明確になされていない。そこで、本研究では一つの地層断面に対し、実地震動を想定して液状化判定を行った。また、試料として百道浜海岸および御笠川の砂を用い、福岡県西方沖地震で観測された不規則波を用いた非排水繰返し三軸試験を行うことで、解析結果の検証を行った。

2.解析方法: 本解析は 1988 年、1989 年に福岡市水道局で作成された地震対策要綱^{1), 2)}で行われた液状化解析の方法に準拠して行った。解析プログラムには一次元波動伝播解析システム「SHAKE」を用いた。解析に用いた基盤入力波は、K-net で福岡市市民会館付近の地表面にて観測された EW 成分を「SHAKE」によって基盤に戻したものである³⁾。地盤のせん断波速度は N 値を用いて求めた¹⁾。また、単位体積重量は旧道路橋示方書・同解説(1990)を用いて土質名より求めた。動的せん断剛性比 G/G_0 と減衰定数 h のひずみ依存性については、安田らの関係式⁴⁾を用いた。次に、福岡市水道局で作成された地震対策要綱より、液状化判定の対象とする土層断面の位置を百道浜から内陸に向けて海岸線に直交するライン上とした。応答解析では地表面最大加速度を求め、各 N 値の測定点における地震時せん断応力比 L を算出した。また、液状化強度比 R は、①道路橋示方書・同解説(1996)の方法で、沖積地盤中にあるシルト混じりや粘土混じりの砂質土の細粒分含有率 FC を 30% とし、シルト地盤の FC を 60% とした場合、②①と同様で、細粒分含有率 FC をそれぞれ 40% と 80% とした場合、③旧道路橋示方書・同解説の方法で液状化強度比を求める際、沖積砂層に対しては 0.187 を加えて補正する場合、④本実験結果を用いる場合の 4 通りで求めた。なお、④の詳細については後述する。

3.解析結果: 図 1, 2 は、土層断面図および液状化解析結果の一例を示したものである。方法①および②では方法③に比べて、 FL 値が N 値によって大きく変動するという特徴が見られる。また、すべての方法において埋立地盤では液状化することが予測できる。しかしながら、沖積地盤においては方法①の場合、液状化が発生する結果となっている。これは、細粒分の補正方法が液状化強度の予測結果に大きく影響したためと考えられる。つまり、方法①による解析では、液状化強度に及ぼす細粒分の影響を十分に考慮していない可能性があると考えられる。さらに、細粒分を方法①より多く見積もった方法②では、沖積地盤において液状化が発生しないことから、液状化判定において細粒分の影響が大きいことが示唆される。これらに対し、③の方法では液状化強度比に 0.187 を加えることによって、沖積地盤の液状化強度比を精度よく推定しているものと推察される。

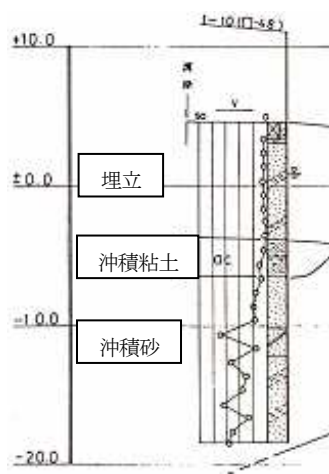


図1 土層断面図

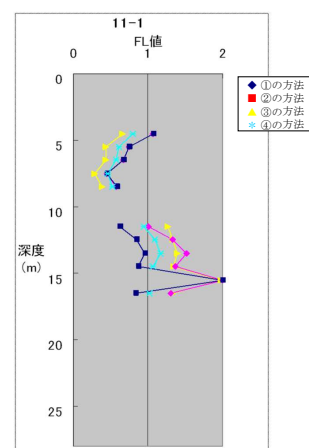


図2 液状化予測結果

キーワード 液状化, 繰返し載荷, 震害

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学工学部 建設社会工学科 tel: 093-884-3111

4.試料および実験方法: 試料には百道浜砂、御笠川砂および御笠川砂に細粒分を加えて $FC=30\%$ とした砂を用いた。なお、御笠川砂を御笠川砂 A、御笠川砂に細粒分を加えて $FC=30\%$ とした砂を御笠川砂 B と呼称する。図 3 にこれらの粒径加積曲線を示す。供試体は空中落下法により、相対密度 $Dr=40\%$ 、 70% 、 90% の 3 種類に調整して作製した。なお、供試体寸法は直径 7.5cm、高さ 15cm である。供試体セット後、炭酸ガスを一定時間通気し、脱気水を通水して飽和させ (B 値 >0.95)、有効拘束圧 49kPa で等方圧密を行った。入力波には、解析で用いたのと同じの地震波形を用いた。なお、加速度波形は時間スケールを 20 倍にして用いた。繰返し試験は油圧三軸試験装置を用いて行った。解析結果の検証方法は、最大せん断応力 $\sigma_{dmax}/2$ を有効拘束圧 σ_0' で正規化したものを最大せん断応力比 R_{max} とし、その値から液状化安全率 FL を算出して解析 A の結果と比較した。なお、安田らのデータ⁵⁾から、実験で用いた攪乱試料の液状化強度比については年代効果による補正として埋立土で 1.36、沖積土で 1.42 を乗じた値を用いている。ただし、これらの数値は不攪乱試料の液状化強度比を、その試料と同じ密度の攪乱試料の液状化強度比で除した値である。

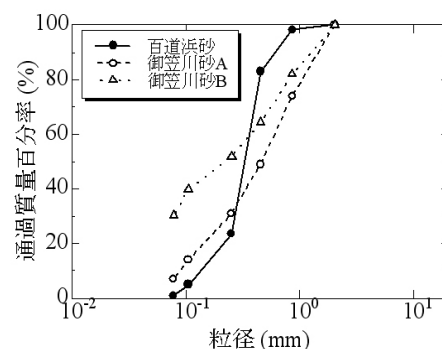
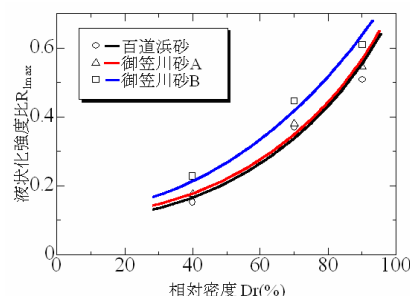


図3 粒径加積曲線

図4 液状化強度比 R_{max} と相対密度 Dr の関係

5.実験結果: 最大軸ひずみ $\epsilon_{max}=2.5\%$ のときの最大せん断応力比を液状化強度比 R_{lmax} と定義し、図 4 に液状化強度比 R_{lmax} と相対密度 Dr の関係を示す。この図より、相対密度 Dr に対する液状化強度比を推定する。ただし、原位置の相対密度は道路橋示方書(1996)に示された補正 N 値、 N_a はマイヤホフの式を用いて求めた。図 5 に①の方法に従い、 N 値より算出した液状化強度比 R と実験より得られた液状化強度比 R の関係を示す。この図を見ると、各値がほぼ 45° 線上に並んでおり、解析値と年代効果補正を行った実験値による整合性は高いと考えられる。ここで、御笠川砂 ($FC=30\%$) に着目してみると、 N 値より算出した液状化強度比 R が実験より得られた液状化強度比 R に比べて、旧道路橋示方書(1990)に準拠した方法ではやや大きく、道路橋示方書(1996)に準拠した方法ではやや小さい。また、図 2 に示した④の方法の結果を見ると、 FL 値は①の方法と③の方法で得られた値の間にある。これらより、攪乱試料の液状化強度、特に沖積地盤の液状化強度に対しては細粒分の年代効果に及ぼす影響を適切に評価することが重要であることが分かる。

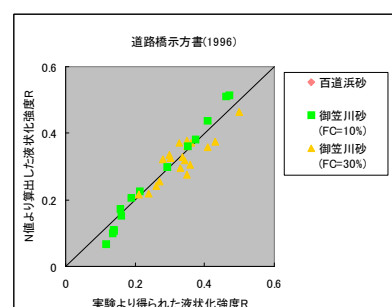
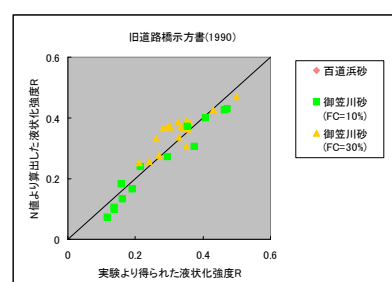


図5 液状化強度比比較

6.まとめ: 本研究では、2005 年福岡県西方沖地震での液状化判定に対する実験的検証に際し、攪乱試料の液状化強度比に年代効果を表す係数を乗じて原位置における液状化強度比を推定することを試みた。その結果、細粒分の年代効果に及ぼす影響を適切に評価すれば、この方法による液状化解析の精度も比較的高い可能性があると考えられる。

参考文献: 1)福岡市水道局:水道事業における地震対策要綱作成のうち地盤関係の調査結果(昭和 62 年度報告書), 1988. 2)福岡市水道局:水道事業における地震対策要綱作成のうち地盤関係および水道施設耐震評価調査結果(昭和 63 年度報告書), 1989. 3)土木学会西部支部:4.液状化被害, 2005 年福岡県西方沖地震被害調査報告書, 2005. 4)安田進・山口勇:種々の不攪乱土における動的変形特性, 第 20 回土質工学研究発表会講演集, pp.539~542, 1985. 5)安田進ら:福岡市における沖積砂および埋立砂の液状化特性, 平成 3 年度土木学会西部支部研究発表会講演集, 1992