

Ⅲ - A100

薄肉の筋交い固化工法の動的 FEM 解析による適用性検討

鹿島技術研究所 正会員 吉田 輝
同上 正会員 林 寛

1. はじめに：筋交い固化工法は、セメント系固化材を用いた原位置地盤攪拌混合により、液状化性地盤中に鉛直、斜め、水平の固化改良壁を組み合わせる液状化対策工法であり、作用外力の一部を斜め壁(筋交い)に受け持たせることによって、液状化の発生、あるいはそれに伴う地盤の側方流動を効率的に抑制することを狙ったものである(図-1)。当工法の適用性に関しては、これまでに FEM 解析、遠心模型実験、現場施工実験、改良体の材料試験等を通じて検討を重ねてきたが⁽¹⁾など、施工効率あるいはコスト面から、改良壁の薄肉化に対する要望が強くなっている。このため、鉛直・斜め壁厚が従来想定していたものより 20~75% 程度薄い改良体(有効厚 80cm)に対して、液状化解析プログラム DYNFLOW⁽²⁾による 2 次元有効応力 FEM 解析を実施し、薄肉改良体の地震時安定性を検討したので、その概要を報告する。

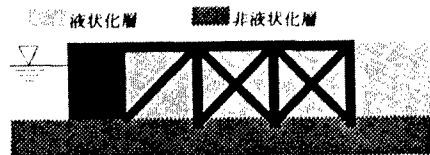
2. 動的解析の概要：対象地盤は、GL-40m を工学的基盤面とし、GL-10~40m に $D_r=95\%$ 程度の密な砂層(非液状化層)、GL-10m 以浅に $D_r=60\%$ 程度の比較的緩い砂層が分布するものとした。地下水位は GL-2m であり、GL-2~-10m を以下では液状化層と称する。FEM 解析モデル(図-2)の底面は GL-30m とし、地盤は、弾塑性構成モデルの一つである Multi-yield モデル⁽²⁾で地盤密度に対応する液状化抵抗を考慮してモデル化した。改良体は、X 字型の筋交いを有する高さ 11m、幅約 10m のユニットを 2 つ並べた形式とした(図-2(b))。水平固化壁のみ厚さ 1m、他の部分はすべて厚さ 80cm とし、鉛直壁は非液状化層に 1m 根入れさせた。改良域での改良体置換率は約 37% である。解析は 3 ケース実施した(表-1)。改良体は弾性体とし、弾性係数は一軸圧縮強さの実測値

$q_u=\sigma_c \approx 50 \text{ kgf/cm}^2$ (実験施工した改良体の平均)を参考にして定めた。改良体のポアソン比は 0.45 を

基本としたが、0.49(文献(1)での採用値)のケースも加えた。改良体の引張り強さ σ_t (静的強度)は、セメント深層混合の例⁽³⁾を参考にして、圧縮強さ σ_c (50 kgf/cm^2)の 15% とした(材料試験からも同程度の値が得られている)。ただし、解析上は改良体に破壊は生じないものとし、改良体の発生応力については事後的に照査した。最大加速度

振幅 200gal または 300gal(表-1)に振幅調整した Imperial Valley 地震 El Centro N-S 波を GL-40m から入力したときの GL-30m における加速度応答を地震応答解析プログラム SHAKE⁽⁴⁾によって求め(図-3(a))、FEM モデル底面に入力した。モデルの左右両端で、同一深度の節点は同じ動きをするものとした。

3. 解析結果：図-3 (b)~(g)に主にケース II での各種の応答(最初の 20 秒間)

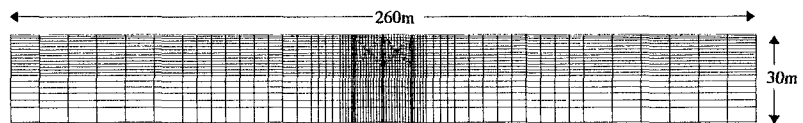


(a) 岸壁背後地盤の液状化・側方流動対策

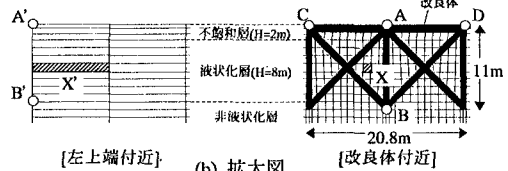


(b) 橋脚基礎の側方流動対策

図-1 筋交い固化工法の適用例



(a) 全体図



[左上端付近]

[改良体付近]

図-2 FEM 解析モデル

表-1 解析条件

解析 ケース	基盤入力 加速度 (gal)	改良体物性 弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン 比
I	200	15,000	0.45
II	300	15,000	0.45
III	300	15,000	0.49

キーワード：筋交い固化工法、液状化、側方流動、地盤改良、有効応力解析
連絡先：182 東京都調布市飛田給 2-19-1 電話：0424-89-7067 FAX：0424-89-7034

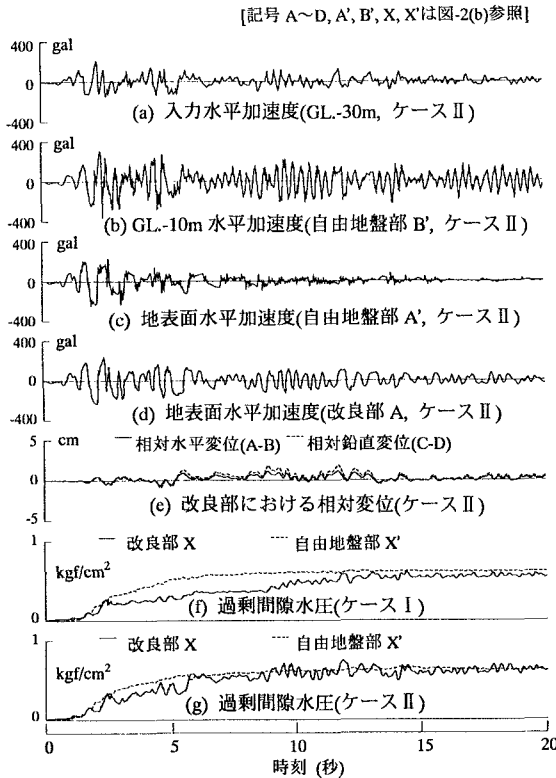


図-3 入力加速度波形と各種の応答

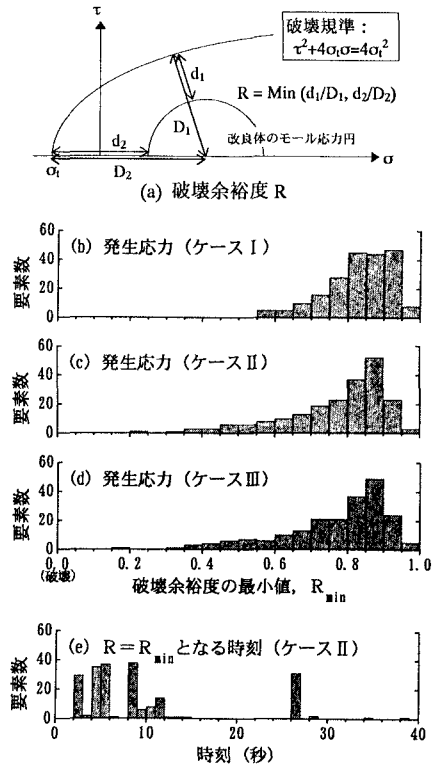


図-4 改良体の発生応力(全 208 要素)

を示す。液状化の進行に伴い地表面での応答加速度は小さくなるが(図-3(c))、改良体は非液状化層に根入れられているため、自由地盤部よりも水平加速度が大きくなる(図-3(d))。しかしながら、改良体における左右両端の相対鉛直変位、上下端の相対水平変位がともに同位相で比例的に生じる(図-3(e))ことから、改良体が剛体的に挙動することが窺える。ケースⅠ～Ⅲとも、改良体内部での過剰間隙水圧は最終的には自由地盤部と同等のレベルまで達するが(置換率を上げれば改良地盤内の液状化抑制効果がより高まることが分かっている⁽¹⁾)、ケースⅠ(基盤入力 200gal)では、改良体内部地盤における過剰間隙水圧の上昇速度は自由地盤部に比べて遅く(図-3(f))、当工法の液状化抑制効果が現れている。また、Griffith の破壊基準によれば、改良体の破壊は生じない(図-4)。ケースⅡ,Ⅲ(基盤入力 300gal)において、自由地盤部の液状化層下端(図-2(b)中 B')での水平応答加速度は 361gal で、直下型地震を対象とした耐震強化岸壁の考え方(水平加速度 $\alpha > 200\text{gal}$ のとき等価水平震度 $K_e = 1/3 \times (\alpha/g)^{1/3}$ 、 g は重力加速度)⁽⁵⁾によれば $K_e = 0.24$ に相当する。改良体のポアソン比のみが異なるケースⅡ,Ⅲの解析結果に明確な差異は認められなかった。

4. まとめ：想定した地盤構成のもとでは、壁厚 80cm の筋交い固化改良体は、水平震度 0.24 相当の地震動に対しても耐え得ることが分かった。なお、本解析手法の妥当性は遠心模型実験との対比により確認済みである⁽¹⁾。また、地震の揺れが収まった後の側方流動に対する安定性については、同じ解析モデルを用いた静的 FEM 解析によって、すでに確認している。

謝辞： 解析にあたり鹿島技研越専門部長、(株)ダイナテックの鄭氏のご支援を戴いたことを付記して感謝の意を表します。

参考文献： (1)山田, 林, 深沢, 鄭：液状化対策工法としての筋交い固化工法の有効性の検証、阪神・淡路大震災に関する学術講演会、土木学会、1996。 (2)J.H. Prevost: DYNAFLOW; A nonlinear transient finite element analysis program, Dept. of Civil Eng. and Op. Research, Princeton University, 1992。 (3)CDM 研究会：設計と施工マニュアル(設計・施工編)、1991。 (4)P.B. Schnabel, J. Lysmer & H.B. Seed: SHAKE-A computer program for earthquake response analysis of horizontal layered sites, Report No. EERC 72-12, University of California, Berkeley, 1972。 (5)野田, 上部, 千葉：重力式岸壁の震度と地盤加速度、港湾技術研究所報告第 14 巻第 4 号、1975。