

耐震補強を考慮した地中構造物の地震時損傷確率評価に関する検討

安藤ハザマ 正会員 ○浦野 和彦, 西村 毅, 前田 博司
安藤ハザマ 正会員 峰沢 ジョージヴウルペ

1. はじめに

地中構造物についても大規模地震を想定した地盤改良などによる耐震補強が最近行われている。著者らは、既設の地中構造物の耐震補強に地盤改良工法を適用した場合の補強効果について検討を行ってきた¹⁾。しかし、高圧噴射工法により造成される固化改良体には品質のばらつきが存在し、そのばらつきが補強効果に与える影響について把握することは重要である。

本検討では、地盤改良体や構造物周辺の地盤のばらつきを考慮した場合の地中構造物への耐震補強効果について検討するため、2次元FEM解析による非線形動的解析を実施した。この動的解析結果に基づき実施した地震時損傷確率評価や耐震補強効果に関する検討について報告する。

2. 解析方法

図-1に示すように、検討対象とした地中構造物は単ボックスの共同溝とし、横断方向についてモデル化した。構造物の側壁、頂版、底版ともに壁厚40cm、配筋はD16@150mm（引張鉄筋比0.44%）である。図-2に解析モデル図を示す。モデルの境界条件は、底面粘性境界及び側方水平ローラーとした。

地盤及び固化改良体（高さ3.4m×幅2m）の物性を表-1に、構造物の材料特性を表-2に示す。地盤及び固化改良体はソリッド要素でモデル化し、地盤の非線形性は修正R-0モデルを用いて表現した。ここで、固化改良体は図-2に示すように構造物に近接する範囲とし、地盤と同様に修正R-0モデル（ $\gamma_{0.5}=1.0\times10^{-3}$, $h_{max}=0.20$ ）を適用した。

構造物については梁要素でモデル化し、非線形特性として剛性低下型トリリニアモデル（修正武田モデル）を用いた。ここで、構造物の隅角部については剛域を考慮した。

表-1, 2に示すように、As層及び改良体のせん断波速度Vs、コンクリートの圧縮強度f'cと鉄筋の降伏強度fyについてばらつきを考慮した。ここで、ばらつきは対数正規分布に従うと仮定し、ラテンハイパーキューブサンプリング法（LHS法）により、100ケースの解析ケースを設定した。

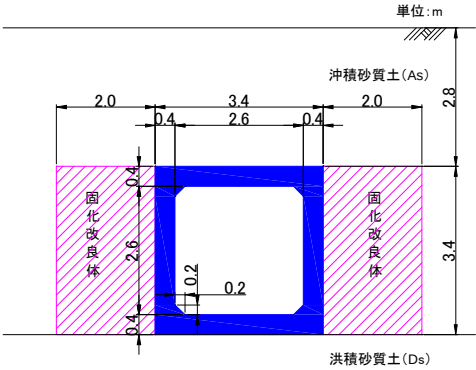


図-1 検討対象構造物

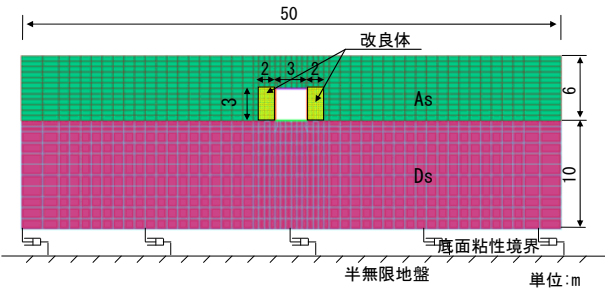


図-2 解析モデル図（補強時）

表-1 地盤及び固化改良体の物性

土質	ポアソン比	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断波速度 Vs		G ₀ (kN/m ²) 平均値
			平均値 (m/s)	変動係数	
As	0.49	18.0	150	0.10	41300
Ds	0.49	20.0	300	-	183000
改良体	0.40	18.0	600	0.25	661000

表-2 構造物の材料特性

材料特性		単位	平均値	変動係数
コンクリート	圧縮強度f'c	N/mm ²	24	0.13
	引張強度ft	N/mm ²	1.91	f'cから示方書 ²⁾ より算定
	弾性係数Ec	kN/m ²	2.5E+07	-
鉄筋	降伏強度fy	N/mm ²	345	0.05
	弾性係数Es	kN/m ²	2.0E+08	-

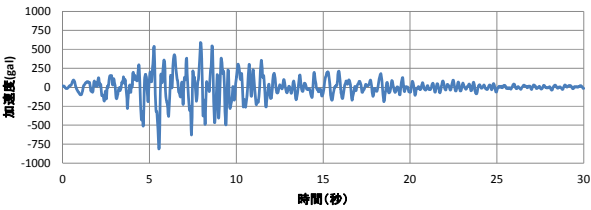


図-3 入力地震動（神戸海洋気象台）

キーワード 地中構造物, 損傷確率, 耐震補強

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 安藤ハザマ技術研究所 TEL:029-858-8813

入力地震動は、図-3 に示す兵庫県南部地震の神戸海洋気象台地盤上の波形（最大加速度 812gal）とし、解析モデル下端の基盤面での最大加速度の値を振幅調整した地震動を水平方向に入力した。

解析は Newmark- β 法による直接積分法（ $\beta=1/4$ ， $\Delta t=0.002$ 秒）で実施した。また、減衰として剛性比例型減衰（ $h=1\%$ ）を考慮した。

3. 解析結果

無補強時と補強時の最大変形図及びせん断歪み分布図を図-4 に示す。せん断歪みの分布状況から As 層下部の層境界部において 3% 程度の卓越したせん断歪み(図中の赤い部分)を生じており，As 層で変位が卓越していることが確認できる。また，固化改良体の存在により，構造物周辺（側方）でせん断歪みが小さくなっており，改良体による変位の抑制効果が確認された。

今回の検討では構造物の曲げ破壊を照査対象とし，損傷指標としては構造物の頂底板間の層間変形角（限界値：1%）とした。図-5 に構造物の層間変形角の時刻歴波形を示すが，補強により無補強時の半分以下に低減しており，補強効果が確認された。

図-6 に無補強時及び補強時の構造物の層間変形角に関するフラジリティ曲線を示す。無補強時には 600gal で損傷確率が増加し始め，1100gal では損傷確率が 1.0 となっている。一方，補強時には 1100gal までほとんど損傷確率は発生せず，1300gal においても損傷確率は 0.5 程度であり，改良体のばらつきを考慮しても十分な補強効果が確認された。

図-7 に示す文献3)を参考に設定した地震ハザード曲線と図-6 のフラジリティ曲線を用いて合積により算定した年損傷確率 Pf を表-3 に示す。補強時は無補強時の 1/5 以下の値に減少しており，年損傷確率 Pf から補強効果を確認することができた。

4. まとめ

地盤改良体を利用した地中構造物の耐震補強効果を確認するため，2次元動的 FEM 解析を用いた地震時損傷確率評価を実施した。解析結果より，改良体による補強効果及びばらつきによる影響を確認することができた。今回は曲げに対する検討を行ったが，せん断等他の照査項目についても検討を進めていく予定である。

<参考文献>

1) 浦野和彦，足立有史，西村毅，大部哲哉，河邑眞：粘性土改良体を用いた地下構造物の耐震補強効果に関する土槽載荷試験による検討，土木学会論文集 C，Vol.68, No4, pp.720-731, 2012.. 2) 土木学会コンクリート委員会：2012 年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2012。
3) 安中正，矢代晴実：大地震の発生サイクルを考慮した日本列島の地震危険度解析モデル，第 10 回日本地震工学シンポジウム，pp.489-494, 1998。

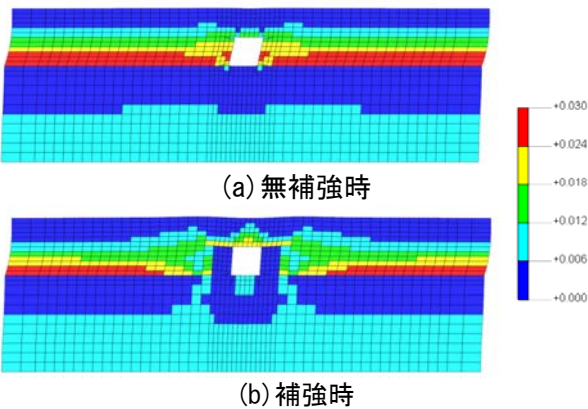


図-4 最大変形図及びせん断歪み分布図 (1100gal 入力時，平均物性値)

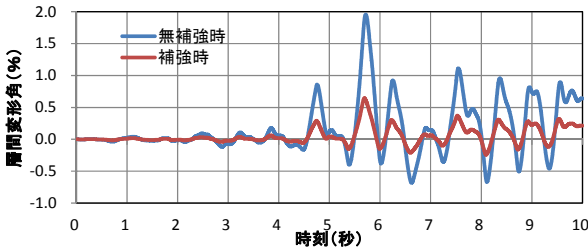


図-5 層間変形角の時刻歴波形 (1100gal 入力時，平均物性値)

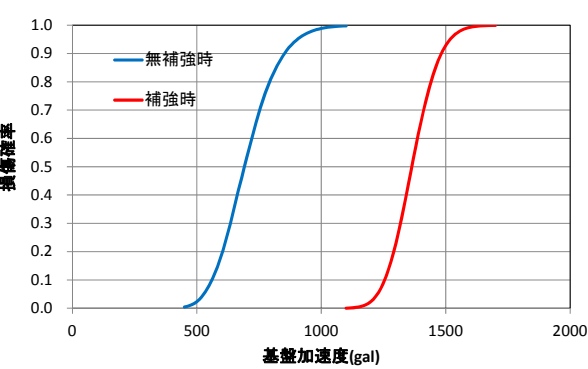


図-6 フラジリティ曲線

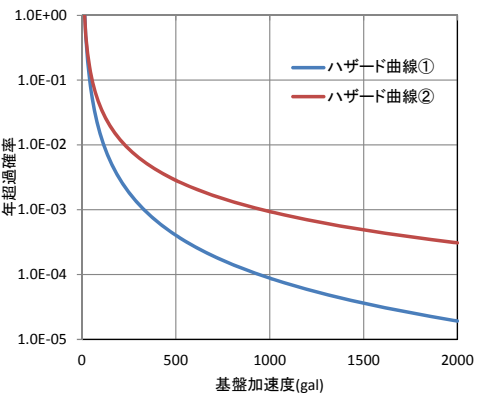


図-7 地震ハザード曲線

表-3 年損傷確率 Pf の比較

ハザード曲線	年損傷確率 Pf	
	無補強時	補強時
①	1.89×10^{-4}	2.55×10^{-5}
②	1.42×10^{-3}	2.61×10^{-4}