

盛土堤防へ空気注入不飽和化工法を適用した場合の解析事例

愛知県西三河建設事務所西尾支所 渡邊 英、石田 充
 (株)ニュージェック ○楠 謙吾、大谷 裕司、梅田 和成、岡部 登

1. はじめに

現在、愛知県が進めている海岸堤防の耐震対策工法としては二重締め切り鋼矢板工法が主に採用されている。この工法は対策工法の中では比較的安価であるが鋼矢板の材料費が高い。そこで、さらなるコスト削減を目指し近年開発が進んでいる空気注入不飽和化工法について検討した。検討案としては図-1 のとおり堤体盛土直下の液状化地盤に空気を注入することで不飽和化させ、その状態が長期持続するような法尻矢板を設置する案とした。この検討案

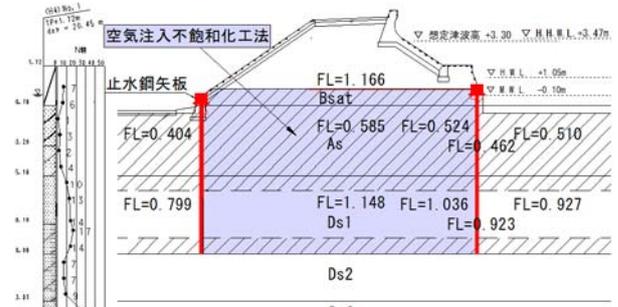


図-1 対策イメージ

に対し「愛知県海岸保全施設の耐震対策設計方針・同解説」(以降愛知県の設計方針という)に基づき照査を実施した。ここでは検討内容の中から二次元有効応力地震応答解析 FLIP¹⁾の解析結果について報告する。

2. 解析方法

解析は FLIP を使用し幾何学的非線形性を考慮できる大変形解析として実施した。検討案の解析モデルを図-2 に示す。不飽和化地盤は有効上載圧力により改良効果が異なるため領域を分割し、それぞれの領域に対して材料特性を設定した。法尻矢板についてはモデル化していない。不飽和化対策による液状化強度の増加量は既往の文献²⁾を参考に設定した。具体的には、まず対策の設計飽和度を 95%として式 (1) より体積ひずみポテンシャル ε_v^* を算定し、その ε_v^* から繰り返し回数 20 回における液状化強度の増加量 ΔRI_{20} を式 (2) により算出した。次に算出された液状化強度の増加量 ΔRI_{20} が全ての繰り返し回数に対して一様に増加するとして不飽和地盤の液状化強度を推定した(図-3)。最後に推定した不飽和地盤の液状化強度を FLIP で再現できるよう要素シミュレーションを実施し液状化パラメータを設定した(表-1)。

$$\varepsilon_v^* = \frac{\sigma_v'}{P_0 + \sigma_v'} \left(1 - \frac{S_{rd}}{100} \right) \frac{e}{1+e} \quad \dots \text{式 (1)}$$

設計飽和度 S_{rd} , 有効上載圧 σ_v' , 静水圧 P_0 , 間隙比 e

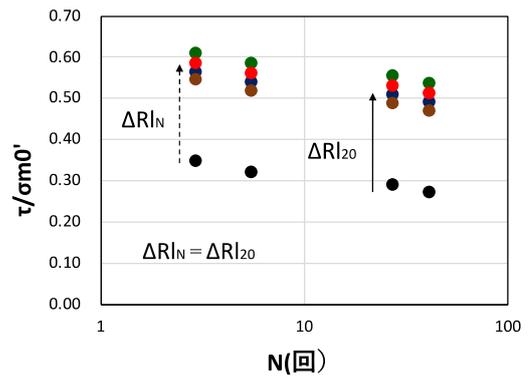


図-3 As 層の液状化強度の増加量

表-1 As 層の液状化パラメータ

液状化パラメータ	ϕP	w1	p1	p2	c1	s1	
堤体直下	対策前	28	9	0.7	1.2	3.19	0.005
	対策後	28	9	0.7	1.2	7.73	0.005

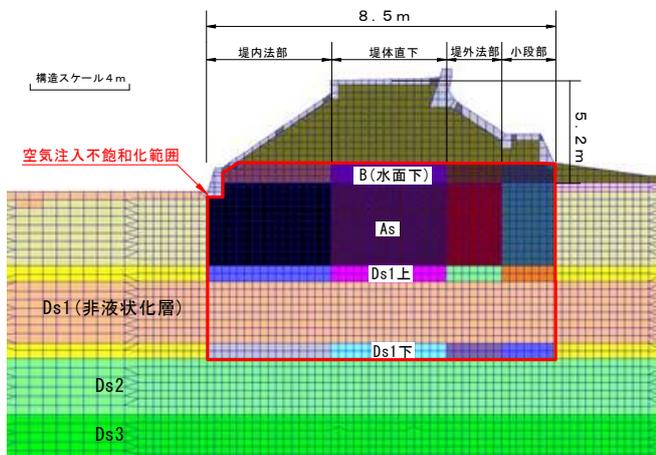


図-2 解析モデル図

キーワード 空気注入不飽和化工法 FLIP 解析

連絡先 〒136-0071 東京都江東区亀戸 1-5-7 (株)ニュージェック Tel 03-5628-7357

$$\Delta Rl_{20} = Rl_{20}\{(\log(6500\varepsilon_V^* + 10) - 1)\} \dots \text{式 (2)}$$

ΔRl_{20} : 不飽和化による液状化強度比の増加分 ε_V^* : 体積ひずみポテンシャル

3. レベル1地震動に対する解析結果

愛知県の設計方針ではレベル1地震動に対しては静的照査法を用いて検討することとしているが、ここでは参考ため実施したFLIPの解析結果について述べる。照査に用いた加速度波形は道路橋示方書・同解説V耐震設計編(以降道示という)のI種地盤波形(I-1)とし、引き戻し処理は行わず直接基盤面に入力した。対策前と対策後の過剰間隙水圧比の最大値分布図を図-4、図-5に示す。レベル1地震動に対しては不飽和化対策により過剰間隙水圧の上昇が抑制され、堤防天端の残留沈下量は対策前と比べ約22cm低減された。

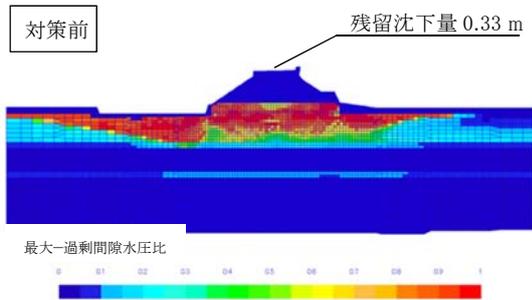


図-4 過剰間隙水圧比分布図(対策前)

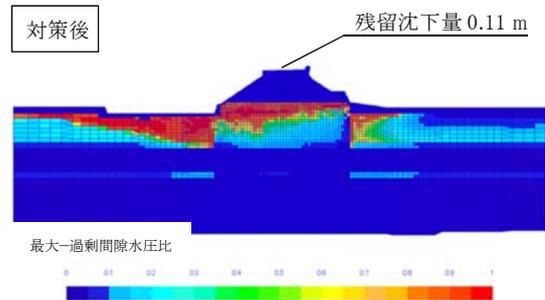


図-5 過剰間隙水圧比分布図(対策後)

4. レベル2地震動に対する解析結果

愛知県の設計方針では、レベル2地震動に対して動的照査法を用いて地震後の堤防天端沈下量について照査することとしている。照査に用いた加速度波形はプレート境界型については宝永・安政東海・安政南海・昭和東南海・昭和南海の5地震を網羅できるように設定した波形(図-6)を用い、内陸直下型は道示波形II-1-1を基盤面へ直接入力した。残留沈下量の解析結果を表-2に変形図を図-7に示す。結果、レベル2地震動に対しては不飽和化による対策効果がほとんど認められなかった。この要因としては今回対象とした地盤の液状化強度が地震動に対し小さすぎたためと考えられる。また解析手法の相違についても比較するため微小変形解析による結果も併記した。本検討では変形量が比較的大きかったため幾何学的非線形の影響が大きかった。微小変形解析でプレート境界型における対策後沈下量が対策前より大きくなっている理由は、液状化強度が大きくなったことで応答が変化したことが原因と考えられる。

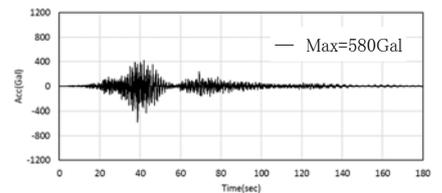


図-6 プレート境界型加速度波形

表-2 残留沈下量の解析結果

解析手法	対策前		対策後(飽和度95%)	
	プレート境界型	内陸直下型	プレート境界型	内陸直下型
大変形解析	1.18 m	1.14 m	1.13 m	1.10 m
無対策時に対する割合	-		96%	96%
微小変形解析(参考)	2.17 m	1.88 m	2.36 m	1.74 m
大変形/微小変形	54%	61%	48%	63%

天端位置	水平	鉛直
残留	0.03 m	1.13 m
最大	0.32 m	1.13 m

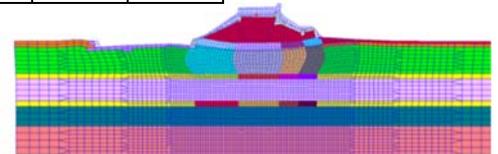


図-7 残留変形図(プレート境界型)

5. まとめ

今回の検討断面に対し空気注入不飽和化工法を適用した場合の解析結果では、残留沈下量に対してレベル1地震時には一定の効果があるもののレベル2地震時には有効な対策効果が得られない結果となった。今後は液状化強度が今回断面より少し大きい地盤に対しても不飽和化工法の検討を進め、他工法とも比較を行い適用範囲について確認していきたい。また解析手法については、対策前の盛土堤防の照査時など、ある程度の変位が想定される場合には大変形解析を用いて幾何学的非線形性の影響について確認する必要があると考える。

参考文献 1) Iai, S. and Ozutsumi, O.: Yield and cyclic behavior of a strain space multiple mechanism model for granular materials: International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 35(3), pp.360-692, 2005.
 2) 曾根照人、小泉勝彦、浅田英幸、新川直利、藤井直、山浦昌之、岡村未対: 空気注入不飽和化工法の開発 その9: レベル2地震動に対する照査の一例、土木学会第67回年次学術講演会、平成24年9月。