

Ⅲ-B328

CSG構造物の応力ひずみ関係と応力解析

建設省土木研究所

正会員 豊田 光雄

戸田建設(株)(元建設省土木研究所)

正会員 川口 昌尚

1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel)工法とは、河床砂礫等の現地発生材にセメントを添加混合することにより強度増加を図り、改良盛立材として有効利用を図るものである。本報文は、CSGを使用した構造物の安定性を検討するため、CSGの力学モデルを設定し、これを用いた有限要素法による応力解析を行い、堤体内応力に与える堤体形状・基礎地盤およびCSG物性値等の要因について検討した結果を述べたものである。

2. CSGの力学モデル

CSGの応力ひずみ関係は、軸ひずみが約1.0%前後で最大主応力差を示した後、緩やかに強度が低下し、軸ひずみが5%前後ではほぼ一定の強度となる、いわゆるひずみ軟化を示す。この関係をモデル化した応力ひずみ関係を図-1に示す。ピーク強度および残留強度は拘束圧に依存し、Mohr-Coulomb型の破壊基準が適用できる。すなわち、ピーク強度に至るまでは単純な線形とし、それ以後は強度一定の完全塑性とした。軟化過程の強度はピーク強度と残留強度から中央内挿により設定する。この時ピーク強度、残留強度およびピーク時ひずみは、側圧に相当する最小主応力の関数として設定した。せん断破壊を生じた場合は、最小主応力を一定として破壊包絡線に接する応力円となるよう最大主応力を調整した。同時に引張破壊を生じている場合は、最小主応力を0とした後に最大主応力を調整した。せん断強度を超える応力は周囲の要素に再配分する。応力再配分前後の応力円を図-2に示す。

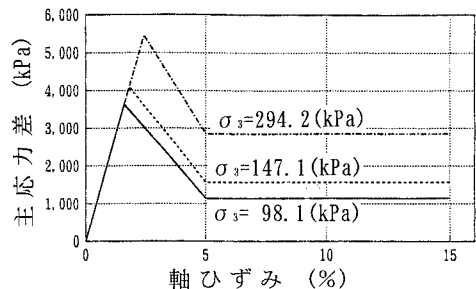


図-1 モデル化応力ひずみ関係

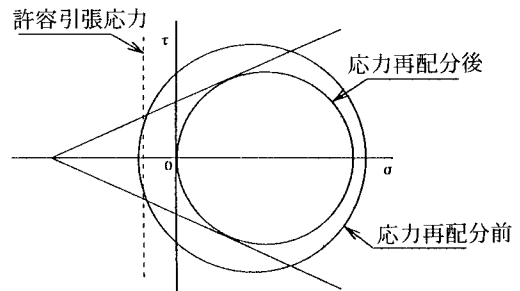


図-2 応力再配分前後の応力円

3. 解析条件

CSG構造物の解析断面を図-3に示す。堤体形状、強度変形特性を組み合わせた解析条件を表-1に示す。解析は、上記の応力再配分をとり入れた2次元平面ひずみによる有限要素法とし、一括荷重載荷とした。

4. 解析結果

(1)破壊領域

破壊領域を生じた解析結果の一例を図-4に示す。CSG構造物に発生した破壊領域は、すべて堤体中央の基礎地盤との境界部付近に発生しており引張破壊領域の周囲にせん断破壊領域が分布している。各種要因の値を変化させた場合、これらの破壊要素の拡がり方が変化するだけであり基本的な破壊形状は同じである。

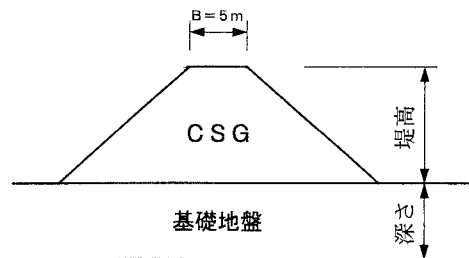


図-3 解析断面

キーワード: CSG, ひずみ軟化, 応力解析
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
〒428-0402 静岡県榛原郡本川根町犬間206

TEL 0298(64)4326 Fax 0298(64)0164
TEL 0547(59)4310

(2)各種要因の検討結果

堤体全体要素数に対する破壊要素数の比率（以下、破壊要素率という）は破壊領域の大きさを表わし、破壊要素率と各種要因の関係を示すと表-2のようになる。

せん断破壊領域の大きさに与える影響が比較的大きいのは堤高と基礎地盤の弾性係数である。堤高が高い場合や基礎地盤の弾性係数が小さい場合、沈下量の違いから堤体内部に大きなせん断変形を生じると考えられる。一方、比較的に影響が少ないのは基礎地盤のポアソン比である。

引張破壊領域の大きさに与える影響が比較的大きいのは基礎地盤の深さ、弾性係数、ポアソン比と堤体の弾性係数で、基礎地盤条件の影響が大きいようである。基礎地盤が深い場合、弾性係数が小さく、しかもポアソン比が大きい、いわゆる基礎地盤の変形性が高い場合に、基礎地盤と接する堤体内部に大きな引張を生じると考えられる。逆にCSGよりも基礎地盤の弾性係数が大きくCSGが基礎地盤の変形に追従できる場合は、せん断破壊も含め引張破壊は生じていない。一方、比較的に影響が少ない要因は堤体の法勾配である。

せん断破壊領域と引張破壊領域を合計した全体破壊領域についてみてみると、堤高と堤体および基礎地盤の弾性係数の影響が大きい。反対に堤体の法勾配の急な場合は引張破壊が多く、緩やかになるにつれてせん断破壊に移行し、破壊要素の全体数がやや減少する。

破壊が全く生じなかったケースは、堤体が低い場合、基礎地盤が浅い場合、堤体の弾性係数が小さい場合、基礎地盤の弾性係数が大きい場合である。

5. まとめ

CSGの力学モデルを設定し、CSG構造物の自重による応力解析を実施した結果次のことがわかった。

- 1) CSG構造物が破壊する場合は、堤敷中央付近に破壊領域が生じる。
- 2) CSG構造物の破壊領域の大きさに特に影響を及ぼす要因は、堤高、基礎および堤体の弾性係数である。

表-1 解析条件

形状	堤体	堤高 (m) 法勾配 頂幅 (m)	10, 30, 50 1 : 0.8, 1.2, 1.5 5
	基礎	深さ (m) 流水深 (m) 流水深 (m)	5, 20, 30 — —
強度変形	C	単位体積重量 (t/m^3) ピーク強度時粘着力 (kPa) 内部摩擦角 ($^{\circ}$)	2.2 147 50
	S	残留強度時粘着力 (kPa) 内部摩擦角 ($^{\circ}$)	49 46
係数	G	弾性係数 (MPa) ポアソン比 引張強度 (kPa)	196, 412, 980 0.2, 0.25, 0.3 80.8
	基礎地盤	単位体積重量 (t/m^3) 粘着力 (kPa) 内部摩擦角 ($^{\circ}$) 弾性係数 (MPa) ポアソン比	2.05 0 44 147, 490, 980 0.35, 0.4, 0.45

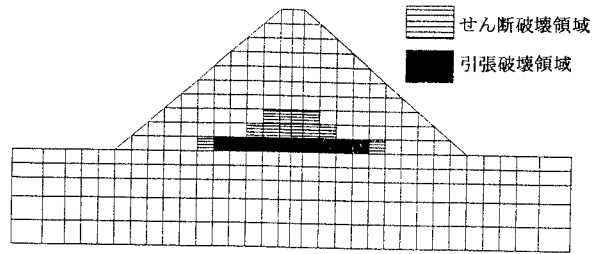


図-4 破壊領域図

表-2 各種要因と破壊要素率

要素		破壊要素率 (%)			備考
		せん断破壊	引張破壊	破壊全体	
基礎深さ (m)	5	0.0	0.0	0.0	堤高=30m, 法勾配=1.2 堤体 E=412 $\nu=0.2$ 基礎 E=147 $\nu=0.4$
	20	9.2	7.7	16.9	
	30	7.7	10.8	18.5	
堤高 (m)	5	0.0	0.0	0.0	基礎=20m, 法勾配=1.2 堤体 E=412 $\nu=0.2$ 基礎 E=147 $\nu=0.4$
	20	9.2	7.7	16.9	
	50	18.7	5.7	24.4	
法勾配	0.8	7.7	9.2	16.9	堤高=30m, 基礎=20m 堤体 E=412 $\nu=0.2$ 基礎 E=147 $\nu=0.4$
	1.2	9.2	7.7	16.9	
	1.5	10.8	4.6	15.4	
基礎ポアソン比 ν	0.35	7.7	3.1	10.8	堤高=30m, 基礎=20m 法勾配=1.2 堤体 E=412 $\nu=0.2$ 基礎 E=147
	0.40	9.2	7.7	16.9	
	0.45	7.7	18.5	26.2	
基礎弾性係数 (MPa)	147	9.2	7.7	16.9	堤高=30m, 基礎=20m, 法勾配=1.2 堤体 E=412 $\nu=0.2$ 基礎 E=147 $\nu=0.4$
	490	0.0	0.0	0.0	
	980	0.0	0.0	0.0	
堤体ポアソン比 ν	0.20	9.2	7.7	16.9	堤高=30m, 基礎=20m, 法勾配=1.2 堤体 E=412 $\nu=0.4$ 基礎 E=147 $\nu=0.4$
	0.25	7.7	4.6	12.3	
	0.30	6.2	0.0	6.2	
堤体弾性係数 (MPa)	196	0.0	0.0	0.0	堤高=30m, 基礎=20m, 法勾配=1.2 堤体 $\nu=0.2$ 基礎 E=147 $\nu=0.4$
	412	9.2	7.7	16.9	
	980	6.2	35.4	41.5	