

京都大学工学研究科 正会員 田村 武
 京都大学工学研究科 正会員 角 哲也
 京都大学工学研究科 学生員 世戸 洋行

1. はじめに

近年、河床砂礫や掘削材などにセメントを混合することにより、強度特性の改善を図る Cemented Sand and Gravel(以下 CSG) 工法 [1] が注目されているが、この工法は、セメントを混合することによって増大するピーク強度に対して、終局時にひずみ軟化特性を示す。そこで、このような構造物の極限解析を行うために、剛塑性有限要素法 (以下 RPFEM)[2] を用いてひずみ軟化特性を考慮した検討を行った。

2. 解析手法

ひずみ軟化特性は一般に、図 1. のように示される。このような材料に対しては、一般的に弾塑性解析が行われてる。これに対して、RPFEM は、その詳細は既応の文献 [2] 他に譲るが、ひずみ (ϵ_{ij}) ではなく、ひずみ速度 ($\dot{\epsilon}_{ij}$) が求められる。そこで、本研究では、図 1. に示すように材料強度をピーク強度 (1) と残留強度 (2) の 2 段階にモデル化を行う。

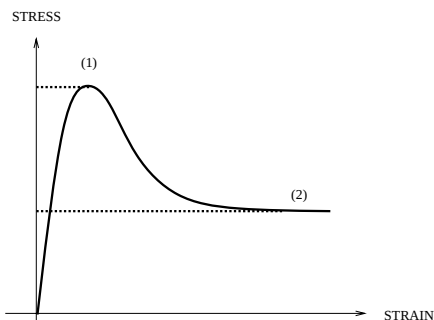


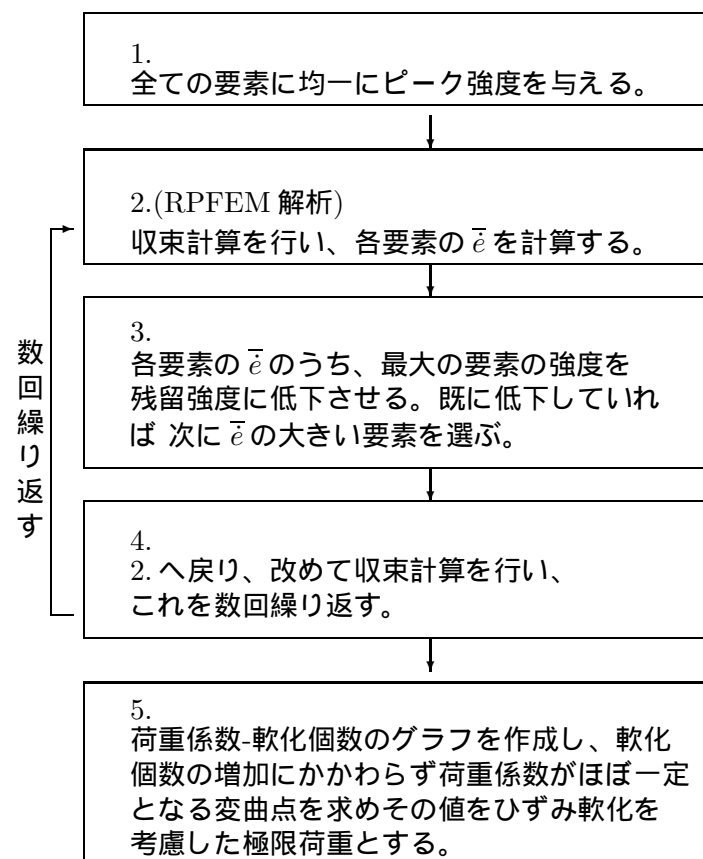
図 1. 応力-ひずみ関係のモデル化

次に、ひずみ軟化材料による構造物の破壊が、軟化要素の連結によるせん断帯の形成によってもたらされるという考えにより、このような材料の極限解析がピーク強度と軟化強度の二つの強度を有する要素の分布の組合わせを検討することに帰着されと考える。具体的には、RPFEM により、全要素がピーク強度として各要素の相当塑性ひずみ速度 (以下 $\bar{\epsilon}$) を求め、最大の $\bar{\epsilon}$ の要素から順次残留強度に低下させる。

本研究では、こうして得られた軟化個数-荷重係数の関係から、軟化個数の増加にもかかわらず荷重係数が

ほぼ一定となる点 (以下 変曲点) を求め、その値を極限荷重とする。以下に計算フローを示す。

2.1 計算フロー



3. 解析結果

そこで、上記の手法を用いて、図 2. に示す長島ダム二次締切堤をモデルに検討を行った。

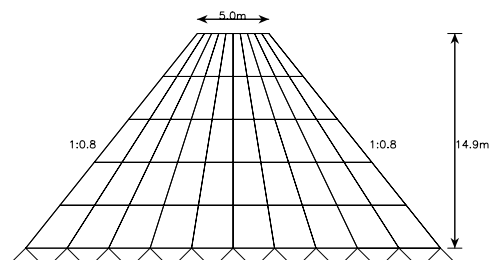


図 2. 長島ダム二次締切堤 (CSG) の堤体モデル

キーワード: CSG, ひずみ軟化、剛塑性有限要素法

〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 tel:075-753-4794 fax:075-753-4794

なお、解析は非関連流れ則とし、ピーク強度及び残留強度での強度は、表 1. のように設定し、単位体積重量 $\gamma = 2.6\text{tf/m}^3$ とした。

表 1. ピーク時と残留時における強度

	粘着力	内部摩擦角
ピーク強度 (1)	$c=25.0\text{ tf/m}^2$	$\phi = 45.0^\circ$
残留強度 (2)	$c=8.0\text{ tf/m}^2$	$\phi = 40.0^\circ$
	ダイレイタンシー角	
ピーク強度 (1)	$\psi = 19.0^\circ$	
残留強度 (2)	$\psi = 17.5^\circ$	

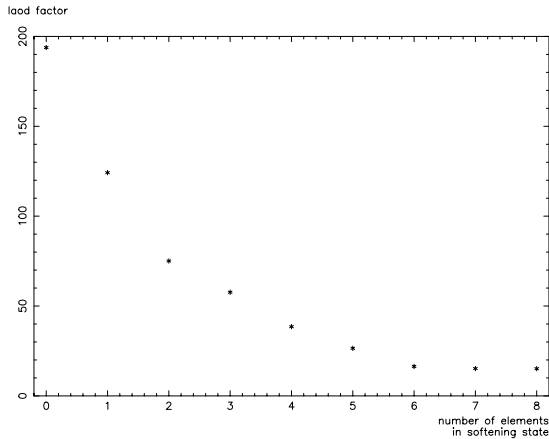


図 3. 軟化個数-荷重係数の関係

図 3. に軟化個数-荷重係数の関係グラフを示す。図 3. より、変曲点は軟化要素 6 個時となる。この時の荷重係数は $\mu = 16.4$ である。また、軟化個数 0 個における速度場を図 4. に示し、変曲点時における速度場を図 5. に示す。図 5. では、本来対称となるはずであるが、第一軟化要素がその後の軟化要素決定に影響するため下流側 (右) のみ軟化している。図から、軟化要素を連結する線が破壊線であると考えられる。

また、図 4. と図 5. を比較すると、軟化を考慮すると、破壊線を境に速度場が明確に変化することが分かる。また、変曲点時における軟化順を図 6. に示す。

さらに、地震力を考慮した場合について、震度法を用いて各節点一様に自重の 0.15 倍を水平方向に作用させて解析を行った。この場合、軟化個数-荷重係数の関係グラフにおける変曲点は、9 個の要素軟化時となり、その時における荷重係数は $\mu = 6.5$ である。また、軟化箇所と速度場を図 7. に示す。

図 5. と図 7. を比較すると地震力を考慮すると、破壊線が深くなることが分かる。

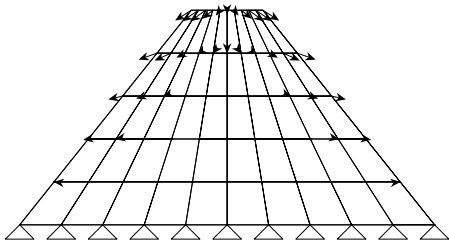


図 4. 軟化要素 0 個での速度場

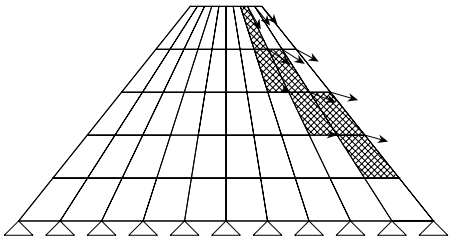


図 5. 変曲点時での軟化箇所と速度場

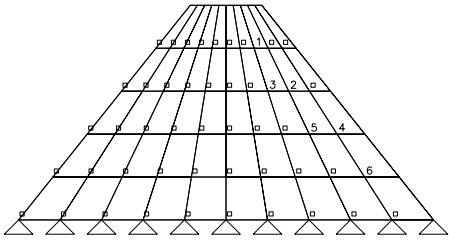


図 6. 変曲点までの軟化順

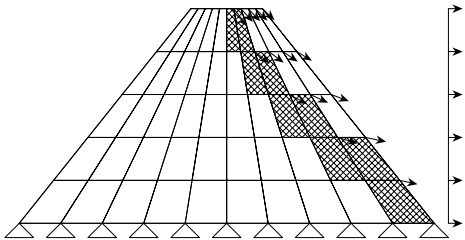


図 7. 変曲点時での軟化箇所と速度場 (地震時)

4. 結論

- ひずみ軟化特性を有する構造物の極限荷重は、軟化個数-荷重係数の関係において、軟化個数の増加にもかかわらず荷重係数がほぼ一定となる変曲点の荷重係数により求めることができる。
- 極限荷重時に求められる軟化要素を線で結ぶことにより、ひずみ軟化特性を有する構造物の破壊領域を推定することができる。
- 地震力を考慮すると破壊線が深くなることが分かる。

参考文献

[1] 例えば、藤澤 侃彦、中村 昭、豊田 光雄、石川 高史、山上 和彦：C.S.G. の材料試験および施工、ダム技術、No. 83、pp. 41-51、1993。
[2] 例えば、Tamura, T., S. Kobayashi and T. Sumi: "Limit analysis of soil structure by rigid plastic finite element method", Soils and Foundations, Vol. 24, No. 1, pp. 34-42, 1984.