

I-157 最適化手法を用いた中詰材モデルのせん断抵抗解析

防衛大学校 学生員 三浦 明夫 正員 香月 智 正員 石川 信隆

1. 緒言 鋼製枠砂防構造物は、鋼製骨組みの中に隙材による中詰材を詰めた構造をもつ砂防ダムであり、透水性や屈とう性に優れている点が着目されている。しかし、その中詰材と鋼製枠との一体挙動時のせん断抵抗力と変形との関係が未だ不明確である¹⁾。そこで著者らは、これらを明らかにするために、これまで中詰材のせん断抵抗実験²⁾や個別要素法による解析法の研究を行ってきたが、これらの結果を直接設計に結び付けるためには、さらに中詰材の簡単なモデル化が必要である。従来、中詰材のせん断抵抗力に関しては、北島の研究²⁾があるが、この方法ではせん断抵抗力と変形との関係を求めることはできない。本研究は、中詰材をバネモデル化した構造モデルを提案したうえで、その弾塑性解析に最適化手法を用いることにより、計算効率化を図り、その適用性を検討したものである。

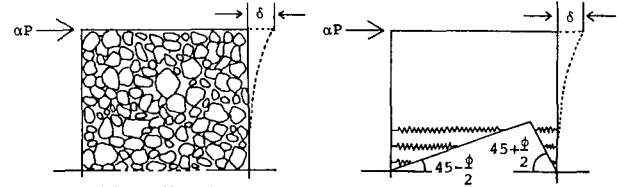


図-1 中詰材を詰めたラーメン (b) モデル化した構造
構造のモデル化

2. 中詰材構造のモデル化 実際の鋼製枠砂防構造物は、約2mの鋼部材をラーメン型式やトラス型式に多層に組み立てて作られるが、著者らは、これを簡易構造モデル化し、図-1(a)に示すようなラーメン枠の中に中詰材を詰めた実験を行った³⁾。また、北島の理論²⁾では中詰材を等価な矩形断面にして、その抵抗モーメントを求めているので、ここでは、このラーメン枠が変形するに伴って中詰材がラーメン枠に及ぼす力を表わすモデルとして、図-1(b)に示すような中詰材バネを用いた構造モデルを考案した。すなわち、図-1(b)に示す底面部の三角形は、北島²⁾が提案する中詰材内部に形成されるスベリ面を表わしており、この領域の中詰材は、不動領域を形成するものとし、中詰材バネの一端を固定するものとした。

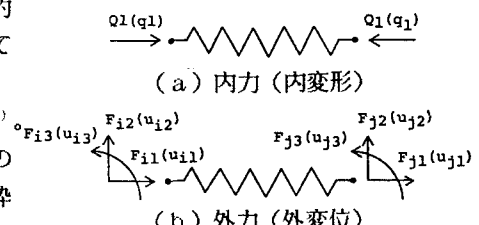


図-2 中詰材バネの断面力

3. 要素モデル ラーメン枠部材の要素モデルには、断面力として軸力と曲げモーメントが同時に作用する。中詰材バネの要素モデルは、そのバネの周囲にある断面内の中詰材を代表する要素として考え、断面力としては図-2のように軸力のみが作用するものとした。さて、図-1(b)の中詰材バネの一端が固定されているスベリ面上においては、垂直方向にその上方にある中詰材の自重による垂直応力 σ_v が作用している。また、水平方向には、静止土圧状態での応力 σ_0 と変形に伴ってバネ要素が伝える N/A とが同時に作用している。そこで、この2つの応力 σ_v と σ_h が主応力であると考えたと図-3に示すようなモール・クーロンの破壊基準が適用できる。すなわち、このスベリ面上での水平応力 σ_h がこの破壊基準を満たすとき、そのバネ要素がその降伏条件に従うものとし、そのうえで中詰材バネが図-4に示すような完全弾塑性挙動を示すものと考えた。ここで弾

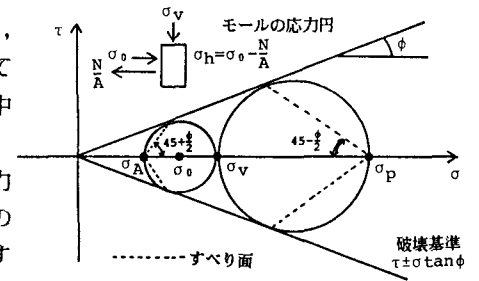


図-3 中詰材バネ要素の降伏条件
(モール・クーロンの破壊基準)

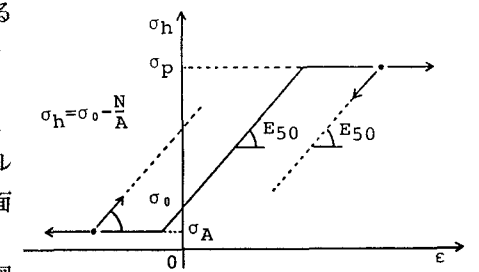


図-4 中詰材バネ要素の弾塑性応答

性域の剛性係数については、土質学会で行った礫材の三軸試験データの一部を採用した。

4. 解析基本式 上記の要素モデルを用いた構造物の弾塑性増分解析の基本条件式は表-1のようになる⁴⁾。ここで式(1)は内力ベクトル Q が外力ベクトル F とつり合いマトリックス C によって関係づけられる力のつり合い条件を、式(2)は内力ベクトル Q が弾性内変形 q^e に剛性マトリックス k を乗ずることによって得られる弾性場における変形と内力の関係を、式(3)は内変形 q が変位ベクトル u と適合マトリックス c によって結合するという変形適合条件を、式(4)は内変形 q が弾性部分 q^e と塑性部分 q^p との和によって表わされることを、式(6)は降伏条件式を、式(5)は塑性変形 q^p が降伏条件式の法線ベクトル N に塑性乗数ベクトル λ を乗ずることによって得られることを、式(7)は塑性乗数 λ の発生を規定する条件をそれぞれ表わしている。また α は荷重係数を示す。各ベクトルにおける記号バーは前段階までの増分の累積を示し、 Δ は現段階での増分を示す。表-1に示した基本条件を連立して整理すると、各段階ごとの増分解析の基本式が表-2

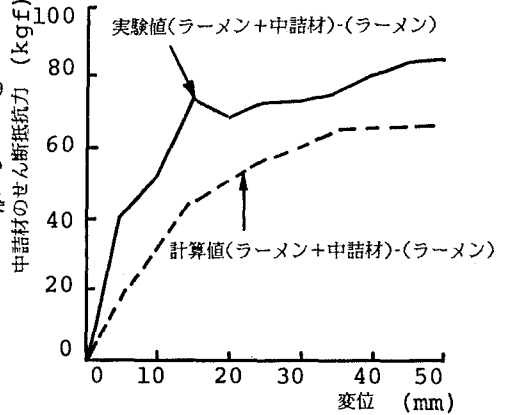


図-5 中詰材のせん断抵抗力～変位関係

表-1 弾塑性増分解析の基本条件式

$c^T (\bar{Q} + \Delta Q) = (\bar{\alpha} + \Delta \alpha) F$	(1)
$(\bar{Q} + \Delta Q) = k (\bar{q}^e + \Delta q^e)$	(2)
$(\bar{q} + \Delta q) = c (\bar{u} + \Delta u)$	(3)
$\bar{q} + \Delta q = (\bar{q}^e + \Delta q^e) + (\bar{q}^p + \Delta q^p)$	(4)
$(\bar{q}^p + \Delta q^p) = N (\bar{\lambda} + \Delta \lambda)$	(5)
$\bar{\Phi} = N^T (\bar{Q} + \Delta Q) - R \leq 0$	(6)
$\bar{\Phi}^T (\bar{\lambda} + \Delta \lambda) = 0$	(7)

表-2 LPによるせん断抵抗解析の基本式

Find:	$\Delta \alpha, \Delta u, \Delta \lambda$	(8)
Object:	$\Delta \alpha \rightarrow \max$	
Subject to:		
	$c^T k c \Delta u - c^T k N \Delta \lambda - \Delta \alpha F = \bar{\alpha} F - c^T k c \bar{u} + c^T k N \bar{\lambda}$	(9)
	$N^T k c \Delta u - N^T k N \Delta \lambda \leq R - N^T k c \bar{u} + N^T k N \bar{\lambda}$	(10)
where		
if	$\bar{\Phi}_i = 0$ then $\Delta \lambda_i > 0$	(11)

に示すようなLP最適化問題として定式化される。すなわち、式(8)はその増分段階の荷重係数 $\Delta \alpha$ の最大値を目的関数とすることを意味し、式(9)は弾塑性状態における変位法の基本式であり、式(10)は未知数 Δu 、 $\Delta \lambda$ によって整理された降伏条件式を表す。また式(11)は各段階のLP問題の外で制御する式(7)の具体的な条件式である。すなわち、全段階の解において、降伏状態に達した降伏条件式 $\bar{\Phi}_i = 0$ に対応する塑性乗数 $\Delta \lambda_i$ のみが、現段階の未知数として考慮されることを示す。

5. 解析結果 図-5の点線は、解析で得られた中詰材のせん断抵抗力～棒上端変位関係を示したものである。ここで、中詰材のせん断抵抗力とは、構造全体のせん断抵抗力から空のラーメン棒のせん断抵抗力を差し引いたものである。図-5の実線は、実験結果を示している。実験値の方が剛性がやや高くなっているが、全般的な傾向はほぼ一致している。

6. 結言 本研究での成果を要約すると、以下ようになる。①中詰材をバネモデル化した簡単な弾塑性解析手法によって、中詰材のせん断抵抗力～変位関係を求めることができた。②中詰材バネのもつ特性値やバネの取り付け位置等について、さらに今後の検討が必要である。

参考文献 1)砂防・地すべり技術センター鋼製砂防構造物研究会:鋼製砂防構造物設計便覧, 昭和62年10月
 2)北島昭一:岩盤のセル構造の破壊について, 土と基礎, pp. 25-33, 1962. 10
 3)鯉淵, 香月, 石川, 鈴木:鋼製棒砂防構造物の中詰材のせん断抵抗力に関する実験的研究
 第43回土木学会年次講演会概要集, 1-27, pp. 108~109, 昭和63年10月
 4)石川, 三原, 香月:最適化手法による骨組構造の弾塑性解析に関する一考察
 第37回土木学会年次講演会概要集, 1-17, pp. 33~34, 昭和57年10月