

I-187

中詰材のせん断抵抗力を考慮した鋼製枠砂防構造物の最適設計

防衛大学校 学生員○鈴木真次 山崎義浩
正 員 香月智 石川信隆
砂防・地すべり技術センター 鈴木 宏

1. 緒 言

鋼製枠砂防構造物は、鋼製枠組の中に礫中詰材を詰めて作られる砂防ダムである。本構造物は、背面からの水平力に対して、鋼製骨組と中詰材の共同作用によって抵抗する複合構造物と考えられるが、未だその解析手法は明らかになっていない¹⁾。また、砂防構造物の設置が必要と考えられる土石流・地すべり発生予想地区は全国に広範囲に存在することから、個々のダムは最低限の安全性を確保したうえで、廉価なものを数多く建設することが効率的ではないかと思われる。そこで、本研究は著者らの行った実験結果²⁾を踏まえたうえで、中詰材のせん断抵抗力を考慮した鋼製枠砂防構造物の解析手法を提案し、続いてフルストレス基準³⁾による最適設計法を適用して、本構造物への実用化を検討したものである。

2. 中詰材のせん断抵抗力を考慮した鋼製枠砂防構造物のせん断抵抗解析

(1) せん断変形に应ずる中詰材圧の求め方

著者らの行った実験²⁾によると、中詰材のせん断抵抗力～変位関係は無次元化すると表-1の式(1)に示すような実験式によって表わされる。また、同実験において得られた壁面圧分布は、三角形分布を示し、前壁面に対して後壁面の礫圧が大きくなることにより、堤体全体のせん断抵抗力を発揮することが認められた。そこで本解析においては、中詰材圧分布を図-1に示すように前壁面では主働土圧分布とし、後壁面ではせん断変形が大きくなるにつれて底面における圧力 σ_B が徐々に大きくなる分布と仮定する。よって、この仮定した分布と式(1)、(2)のモーメントの釣合を解くことによって、せん断変形量 $\gamma(=\delta/h)$ に应ずる σ_B が次式のように求められる。

$$\sigma_B = 6 \{ a \gamma + b \gamma^c \} \sigma_{UB} \tan \phi + \rho K_a h \quad (3)$$

(2) 解析手法

前項で求めた中詰材圧分布は、せん断変形量の関数となっているため、中詰材圧を逐次仮定して荷重として与え、得られたせん断変形量と当初仮定した値とが一致するまで収束計算をすることになる。

(3) 結果と考察

解析対象として、図-2に示す堤体幅12m、高さ10mのトラス構造を用いた。与える荷重状態は、鋼製砂防構造物設計便覧に基づき、図-3に示す洪水時静水圧を作用させた。図-3には同時に解析結

表-1 無次元化せん断抵抗力～せん断変形関係の実験式

$$\bar{M} = a (\delta/h) + (\delta/h)^c \quad (1)$$

ただし

$$\bar{M} = P h / \sigma_{UB} h^2 \tan \phi \quad (2)$$

また a, b, c は 回帰分析の結果

a = 2.57 b = 0.156 c = 0.2 となる。

ここに、

$\bar{M}$: 無次元化されたせん断抵抗力 P: 中詰材のせん断抵抗力

h: 堤体の高さ ϕ : 中詰材の内部摩擦角

σ_{UB} : 底面に働く平均の垂直力 δ : 堤体上部の水平変位量

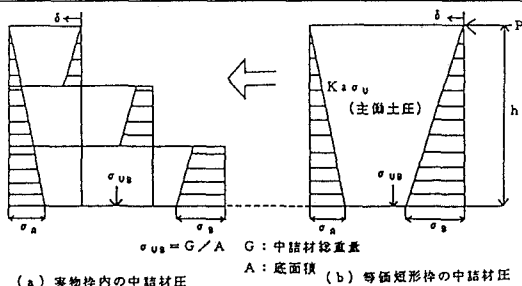


図-1 中詰材圧のモデル化

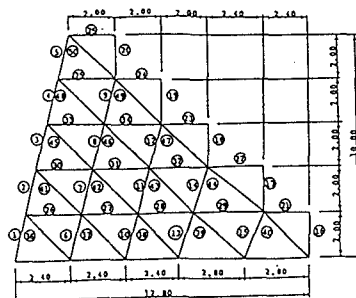


図-2 鋼製枠砂防構造物

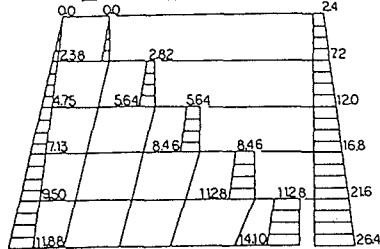


図-3 静水圧荷重および中詰材圧分布

果によって得られた中詰材圧分布を示す。解析結果は、堤体のせん断変形量が0.07%と非常に小さいため、後壁面に発生する中詰材圧は、それほど顕著に前壁面のものよりも大きくなっていない。しかし、この中詰材圧分布の外荷重に対する抵抗力分担を計算すると、約7%で比較的大きな値となっている。図-4には、中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合の解析と本解析結果における各部材に生ずる応力比を比較して示す。これより、本解析法によると、かなり多くの部材に応力比の余裕が生ずることが分かる。

3. フルストレス基準による最適設計

表-2 基本式

前項の解析手法では、部材断面変更に伴う感度解析に適当な手法が見当たらないため、最も簡易でかつ実用的なフルストレス基準による最適設計法³⁾を用いた。

(1) 基本式

フルストレス基準による最適設計の基本的な考え方は、いま仮にある断面の応力が許容応力の約7割とすれば、元の断面積を約7割に減らして許容応力一ぱいに近づけるといいうもので、ある断面積の改良係数Dおよび収束判定式は表-2のように求められる。

(2) 最適設計結果

図-5に最適設計前（中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合で手計算による許容応力設計）の各部材の鋼材量と最適設計後の部材量を比較して示す。これより、最適設計後においては、極めて顕著に鋼材量の低減が図れることが分かる。その総鋼材量は最適設計前0.35m³（100%）に対し、最適化後には0.22m³（62%）となっている。なお、この最適断面を参考に実部材として施工上の便を考慮してグルーピングした設計結果は、総鋼材量0.31m³（89%）となった。

参考文献：

- 1) 砂防・地すべり技術センター 鋼製砂防構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧、昭和62年10月。
- 2) 香月、加瀬、石川、鈴木：単純せん断枠を用いた礫中詰材のせん断抵抗力に関する実験について、土木学会平成2年度全国大会講演概要集、平成2年9月。
- 3) 土木学会：構造システムの最適化—理論と応用—、昭和63年9月。

1. 断面積の改良

$$A = D \cdot \bar{A} \quad (3)$$

ただし $\bar{A}$ は元の断面積、D は断面改良係数で次のように求められる

(1) 軸力部材

$$D = \sigma_i / \sigma_{si} \quad (4)$$

σ_i : 現段階設計応力

σ_{si} : 許容応力

(2) 曲げと軸力同時考慮部材

$$D = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (5)$$

ただし、 $A = \alpha A_g^2 \sigma_{Ns} \sigma_{bs}$

$B = (\beta \sigma_{Ns} \sigma_{bs} - \alpha N \sigma_{bs} - M \sigma_{Ns}) A_g$

$C = -\beta N \sigma_{bs}$

α, β : 断面係数 $Z = \alpha A + \beta$ の線形近似係数、

A_g : 現段階断面積

σ_{Ns} : 軸力に対する許容応力度

σ_{bs} : 曲げ許容応力度

N : 現段階の軸力

M : 現段階の曲げモーメント

2. 収束判定

$\frac{1}{n}$

$$Z_c = - \sum_{i=1}^n \sigma_i / \sigma_{si} \geq \epsilon \quad (0.7 \sim 0.8)$$

$\frac{1}{n}$

$$\sigma_i / \sigma_{si} \leq 1.0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

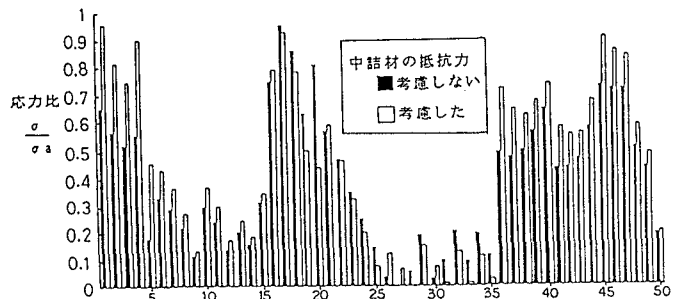


図-4 中詰材の抵抗力を考慮した場合と考慮しない場合の部材に発生する応力比の比較

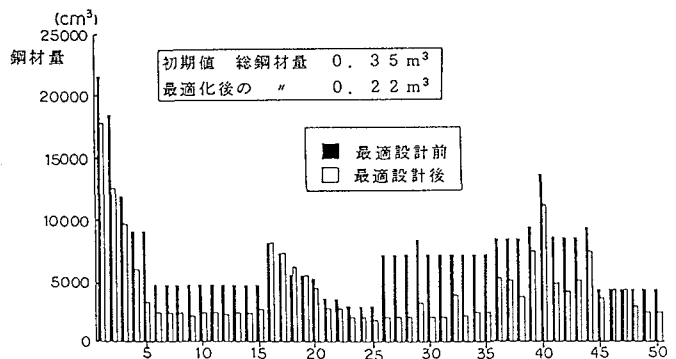


図-5 各部材の鋼材量の比較