

90 中詰材の抵抗力を考慮した鋼製枠砂防ダムの設計法に関する一提案

防衛大学校土木工学科 ○香月 智 石川信隆 大平至徳
砂防・地すべり技術センター 鈴木 宏

1. 緒 言

鋼製枠砂防ダムは、屈撓性に優れていることや短期施工が可能などの利点を有する¹⁾。しかし、堤体のせん断変形に対する抵抗力の算定では、礫中詰材と鋼製骨組の一體挙動のせん断抵抗力の算定法が不明確なため、未だ中詰材か鋼製枠のうち、いずれか一方のみのせん断抵抗力で設計を行っているのが現状である²⁾。従来、中詰材のせん断抵抗力に関する研究としては、わずかに北島らが砂を用いて海岸セル構造物を対象にして行った研究³⁾があるが、礫材を用いた中詰材の研究は見当たらない。このため著者らは、礫中詰材を用いた矩形単純せん断枠実験と実際の鋼製枠砂防ダムと同じ階段型の単純せん断枠を用いた実験を行い、階段型の単純せん断枠内に発生する中詰材圧と中詰材のせん断抵抗力を堤体のせん断変形量に応じて求める手法を提案した^{4)・5)}。しかし、実際の鋼製枠砂防ダムの解析に、この結果をいかに適用するかについては未解明のままであった。

そこで本研究は、まず著者ら提案する中詰材圧の推定式を応用して、礫中詰材のせん断抵抗力を考慮した鋼製枠砂防ダムのせん断抵抗解析法を提案し、数値計算例により、その妥当性と中詰材のせん断抵抗力を考慮した場合の設計に及ぼす影響について考察したものである。

2. 中詰材のせん断抵抗力を考慮した 鋼製枠砂防ダムの解析法

(1) マトリックス構造解析の基本式

鋼製枠砂防ダムの骨組構造には、いろいろなタイプのものがあるが、本研究では標準的な骨組構造例として図-1に示す枠組を解析対象とする。本構造は、全体的にはトラス構造として解析され、中詰材の漏出を防止するためにスクリーン材の設けてある前壁面および後壁面の部材については、図-2に示すような、その部材両端において単純支持されたはりとしての曲げモーメントを、同時に作用させて解析を行うものとする。各部

材要素に働く力と変形を図-3のように表すと、マトリックス構造解析の基本式は、次式のように表わされる。

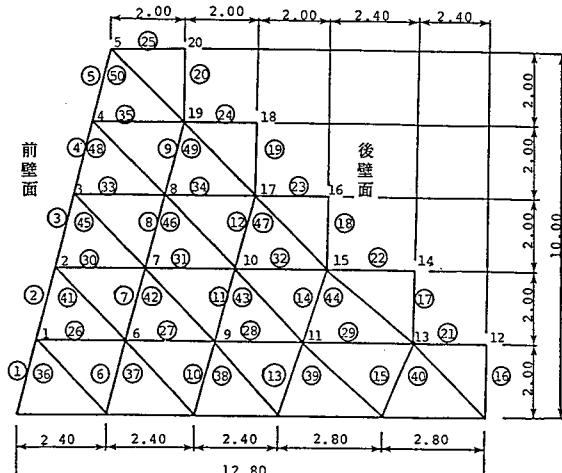


図-1 鋼製枠砂防ダムの骨組構造

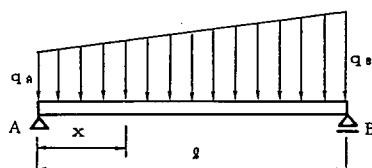


図-2 等分布荷重を受ける単純はり

$$u = [c^T k c]^{-1} F \quad (1)$$

$$q = c [c^T k c]^{-1} F \quad (2)$$

$$Q = k c [c^T k c]^{-1} F \quad (3)$$

ただし、 u ：外変位ベクトル、
 q ：内変形ベクトル、
 Q ：内力（軸力）ベクトル、
 F ：外力ベクトル、
 c ：変形適合マトリックス、
 c^T ：釣合マトリックス

（cの転置マトリックス）、

k ：構造全体の集合剛性マトリックス、
よって、トラス構造では、外力 F が与えられると、内力 Q （軸力）が式(3)より得られる。

(2) 外荷重および中詰材圧荷重

鋼製砂防ダムの堤体に作用する設計荷重としては、図-4、5に示すように中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合、中詰材のせん断抵抗力を考慮する場合のいずれにおいて

も、洪水時の静水圧のみを考慮するものとする²²⁾。なお、中詰材圧荷重については以

下に述べる。現行の設計における中詰材圧の与え方の基本的な考え方は、図-4に示すように前後壁面に静止土圧を作用させて解析および設計を行っている。しかし、著者らの研究結果^{4), 5)}によると、前壁面および後壁面には、中詰材を詰めた当初主働土圧分布の礎圧が生じ、その後堤体のせん断変形の増加に伴って、図

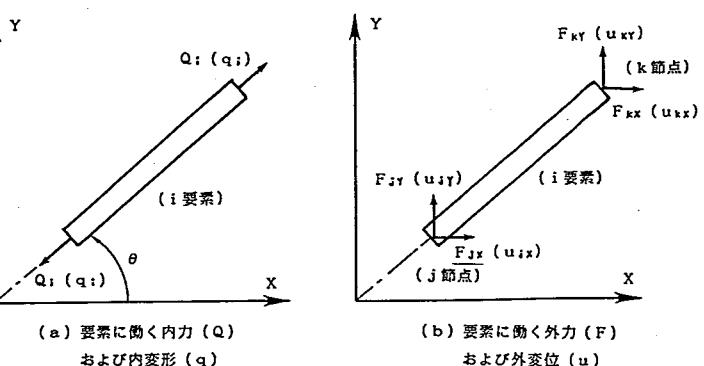


図-3 部材に働く力と変形

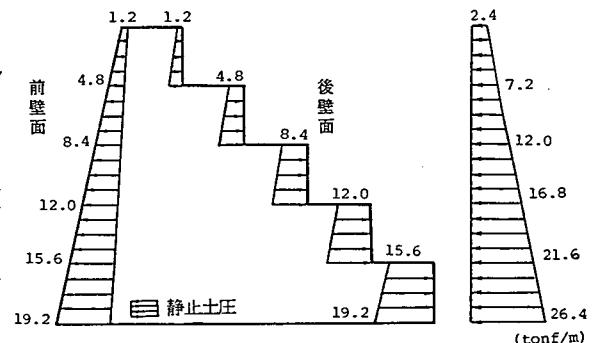


図-4 中詰材の抵抗力を考慮しない荷重分布

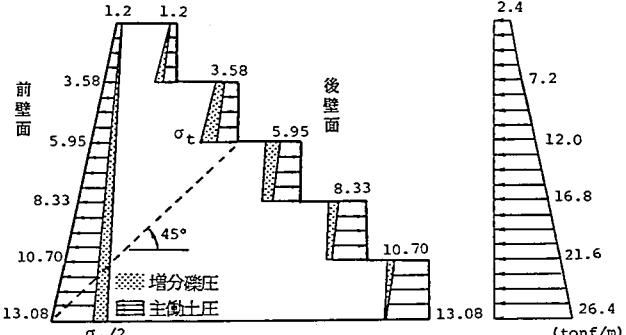


図-5 中詰材の抵抗力を考慮する荷重分布

–5に示すような増分礎圧が生ずる。この時のせん断変形に応ずる増分礎圧の基準値 σ_t は、前壁面下部から45°に引いた線が後壁面と交差する高さに発生するものであり次式によって求められる。

$$\sigma_t = 3M \cdot \sigma_v \tan \phi / (1 - \eta / 2) \quad (4)$$

ただし、 M ：無次元化せん断抵抗力、 σ_v ：底面における垂直応力{=(W+P_u)/A_B}、W：中詰材の全自重、 P_u ：上載荷重、 A_B ：底面積、 ϕ ：中詰材の内部摩擦角、 η ：後壁面の基準値 σ_t に対する前壁面の礎圧の最大値への低減係数、本研究では0.5とする。

さらに、無次元化せん断抵抗力 M は、中詰材の種類の代表値を ϕ 、上方からの拘束力の代表値を σ_v として全ての実験結果に対して標準化したもので、せん断変形量 γ (= δ / H , H: 堤体高, δ : せん

断柱上端の水平変位量)に対する無次元化せん断抵抗力Mは次の実験式によって与えられる。

$$M = 4.44 \times (\gamma) + 0.169 \times (\gamma)^{0.2} \quad (5)$$

(3) 解析手順

式(4)、(5)のような変形に応じて変化する荷重を受ける構造のマトリックス構造解析の解析手順は図-6に示すようになる。

すなわち、その方法は、

- ① まず、堤体の上端の水平変位量 δ_0 を仮定する。
- ② 式(4)、(5)によって δ_0 に対応する後壁面の増分礎圧の基準値 σ_a を $\gamma = \delta_0 / H$ として求め、前・後壁面の礎圧分布を求める。
- ③ 外荷重ベクトル F を変更した後、式(1)、(2)、(3)によって外変位 u 、内変形 q 、内力 Q を求める。
- ④ 求められた外変位 u の中から堤体の上端水平変位 δ を抽出し、 δ と δ_0 を比較する。
- ⑤ この際、 $\delta \approx \delta_0$ であれば、そのときの解を真の解析結果として計算を終了する。
- ⑥ $\delta \neq \delta_0$ の場合、 $\delta_0 = \delta$ として②に戻り、繰り返し計算を行い、⑤の段階で収束するまでこれを繰り返す。

3. 解析結果と考察

表-1に解析に用いた各部材の断面諸元を示す。提案する解析手法によると、最終的に収束値として得られる増分中詰材圧の基準値 σ_a は

2.0tonfとなり、後壁面の主働土圧5.95tonfの約1/3の増分中詰材圧が得られている。この中詰材圧分布の底面に対するモーメント(時計回り)は、37tonf·mとなるのに対し、静水圧荷重のモーメント(反時計回り)は520tonf·mである。よって、この設計においては、中詰材は約7%のモーメント分担をしていることがわかる。図-7に、中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合と、本法の中詰材のせん断抵抗力を考慮した場合における各部材に発生する応力比(σ / σ_a)を比較図示する。

これより、中詰材のせん断抵抗力を考慮した場合の解析結果では、中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合の解析結果に比べて、前壁材(部材番号1~5)に発生する応力比が明瞭に小さくなる一方で、後壁材(部材番号16~20)においては逆に大きくなり、部

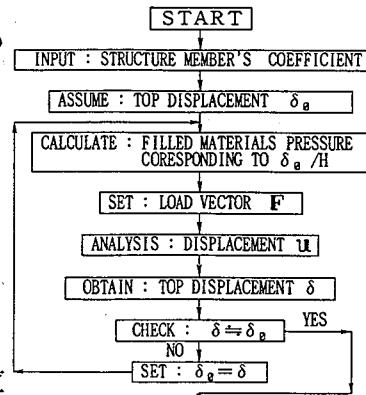


図-6 中詰材のせん断抵抗力を考慮した
鋼製砂防ダムの解析手順

表-1 解析に用いた部材表

部材番号	部材断面	有効断面積(cm ²)
1	H-304×301×11×17	106.1
2	H-300×300×10×15	91.1
3	H-400×200×8×13	58.9
4-5	H-200×200×8×12	44.9
6-15	H-194×150×6×9	23.4
16	H-350×175×7×11	41.2
17	H-244×175×7×11	37.0
18-19	H-300×150×6.5×9	28.0
20	H-150×150×7×10	26.3
40	2L-150×75×9×12.5	43.9
21-25	L-150×75×6.5×10	15.2
45-50		
26-39	2L-150×75×6.5×10	30.3
41-44		

備考：有効断面積は、さび代1.5mmを除いた断面積のことを示す。

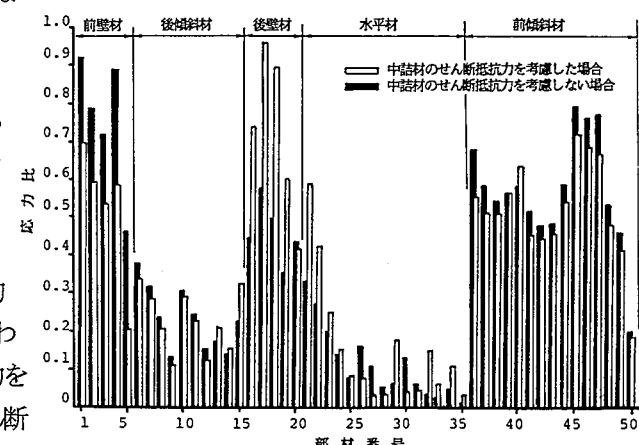


図-7 荷重系ごとの部材応力比の比較
生する応力比(σ / σ_a)を比較図示する。これより、中詰材のせん断抵抗力を考慮した場合の解析結果では、中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合の解析結果に比べて、前壁材(部材番号1~5)に発生する応力比が明瞭に小さくなる一方で、後壁材(部材番号16~20)においては逆に大きくなり、部

材の負担が増加することが認められる。また、後傾斜材(部材番号6～15)や水平材(部材番号21～35)では、その応力比はいずれの解析においても非常に小さな応力比となっており、これらの部材の負担は小さいことが認められる。また、全般的に部材の応力状態は許容応力に対して余裕のある設計となっていることが認められる。そこで、フルストレス基準による最適設計法⁶⁾を用いて、各部材がフルストレス状態となるように部材断面を設計した。表-2にその結果得られた設計結果の総鋼材量を比較して示す。

ここで、初期値とは、表-1の解析に用いた部材断面であり、理想断面とは実在する部材とは関係なく理想的な断面を仮定して求めたものである。また、50部材独立とは、個々の部材が最も理想的な断面をとることを許容する設計であり、グルーピングとは、工学的な判断により同一断面のグループを指定して設計したものである。さらに、実部材の最適設計は、理想部材(グルーピング)の設計結果

で得られた部材断面積よりも大きく、最も小さな断面積を有する実在の部材を選定することにより設計したものである。これより、現行の中詰材のせん断抵抗力を考慮しない設計に比して、提案する中詰材のせん断抵抗力を考慮することにより、実部材設計において約14%の鋼材量の軽減を図ることができる事が認められる。図-8に最適設計状態における中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合と考慮する場合の、各部材の鋼材量比を示す。これより、中詰材のせん断抵抗力を考慮することにより、前壁材の部材は軽減することができるが、後壁面の部材については逆に強化する必要があることが認められる。

4. 結 言

中詰材のせん断抵抗力を同時に考慮した鋼製砂防ダムの解析法を提案することができた。また、提案する解析法を用いると、合理的かつ経済的な設計が可能となることを確かめることができた。

参考文献 1) 佐野常昭・鈴木宏：鋼製砂防ダムの歴史と現状、新砂防、vol.41, No.1, pp.84～91, 昭和63年6月。 2) 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。 3) 北島昭一：岩盤上のセル構造の破壊について、土と基礎、pp.25～33、1962年10月。 4) 香月智・石川信隆・加瀬典文・鈴木宏：礎中詰材のせん断抵抗力に関する実験的研究、平成2年度砂防学会研究発表会概要集、pp.184～187、平成2年5月。 5) 香月智・石川信隆・大平至徳・鈴木宏：鋼製砂防構造物の中詰材のせん断抵抗力および中詰材圧の推定法に関する考察、土木学会論文集、平成3年4月、掲載予定。 6) 土木学会：構造システムの最適化—理論と応用—、pp.138～139、昭和63年9月。

表-2 各設計ごとの総鋼材量の比較

設計区分	総鋼材量 (m ³)	初期値比 (%)	実部材比 (%)
初期値	0.350	100	129
中詰材 せん断 抵抗力 を考慮 しない	理想断面(50部材独立)	0.212	61
	理想断面(グルーピング)	0.233	67
	実部材(グルーピング)	0.272	78
中詰材 せん断 抵抗力 を考慮 する	理想断面(50部材独立)	0.194	55
	理想断面(グルーピング)	0.197	56
	実部材(グルーピング)	0.233	67

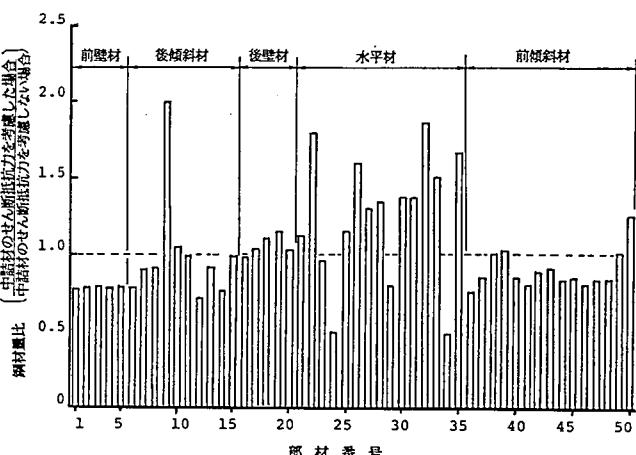


図-8 最適設計値における各部材の鋼材量の比

(中詰材のせん断抵抗力を考慮した場合 / 中詰材のせん断抵抗力を考慮しない場合)