

防衛大学校 学生員〇山崎 義浩 正 員 石川 信隆
正 員 香月 智

1. 緒 言

鋼製枠砂防構造物は、H型鋼などの鋼製枠組の中に礫材の中詰材を詰めてつくられる砂防ダムであり、掃流地域において流路勾配の緩和や地すべり防止などを目的として設置されるものである。ところで砂防構造物の配置においては予想される土石流発生地点や地すべり発生地点が同一流域内において数多く存在することから、高性能・高価格の物を少く配置するよりも、必要最低限の安全性を確保したうえで低価格の砂防ダムを数多く配置する方が、システム全体の安全性を高める効果が大きいと考えられる。このような観点から、本構造物の設計においては最適設計の手法を取り入れることが強く要望される。そこで本研究は、鋼製枠砂防構造物に最も輕易に行えるフルストレスを基準とした繰り返し最適設計法を適用して、その実用化を試みるものである。

2. 最適設計の基本式および手順

鋼製枠砂防構造物をトラス構造として解析する。解析結果としてQ（軸力）ベクトルまたは応力 σ がえられる。このような解析法をルーチンの一部として組み込む最適設計の手順は、以下ようになる。①設計条件（荷重、幾何形状等）を入力する。②各部材断面積の設計初期値を入力する。③部材応力を求める。④構造全体が求めるフルストレス基準に達しているかを表-1に示す式(1)によって判定する。⑤収束していない場合、各部材の改良後の断面積を式(4)によって求める。⑥改良後の断面積を新たな解析条件として③の段階から繰り返す。⑦収束判定を満足した設計値に対して、実在する部材表から計算値よりも断面積が大きな中で最も小さい断面を有するものを選択し、チェックのための解析を行い設計を終了する。

3. 鋼製枠砂防構造物の設計条件

鋼製枠砂防構造物の一例として、図-1に示すよう

表-1 収束判定式および改良断面積

$R > C$ and $f_i < 1.0$ ($i=1, \dots, n$)	(1)
ただし	
$R = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n}$	(2)
$f_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_{al}}$	(3)
n : 全部材数 C : 収束判定平均値、 $C=1.0$ が完全フルストレスを表す。ここでは $C=0.8$ を用いた。	
$\bar{A}_i = f_i \cdot A_i$	(4)
ただし、 A_i : 現段階の断面積 $\bar{A}_i$: 改良後の断面積	

表-2 設計結果（部材表）

最適設計前			最適設計後			中継材のせん断抵抗を考慮した最適設計		
部材番号	部材断面	A (cm ²)	部材番号	部材断面	A (cm ²)	部材番号	部材断面	A (cm ²)
1	H-300x305x15x15	(134.74) (108.50)	1	H-344x354x18x18	(193.20) (132.99)	1	H-294x302x12x12	(104.38) (78.83)
2	H-300x300x10x15	(119.74) (83.85)	2	H-300x300x10x15	(117.74) (91.11)	2	H-240x240x8x14	(95.28) (71.76)
3	H-294x200x8x12	(73.37) (55.85)	3	H-400x200x8x13	(84.82) (64.85)	3	H-400x200x8x13	(84.82) (64.85)
4 6	H-200x200x8x12	(62.51) (47.51)	4 6	H-398x199x7x11 H-250x125x8x9	(89.89) (72.05)	4 6	H-398x199x7x11 H-250x125x8x9	(89.89) (72.05)
8-15	H-194x150x8x9	(39.91) (30.91)	8-9	H-100x50x4x6 H-150x75x5x7 H-125x80x4.5x6 H-175x90x5x8	(9.57) (17.57) (12.44) (12.44)	8 9 10 11 12 7 8 14 20 15	H-100x50x4x6 H-150x75x5x7 H-125x80x4.5x6 H-175x90x5x8 H-348x174x8x9	(9.57) (17.57) (12.44) (12.44) (30.91)
16-20	H-150x150x7x10	(49.14) (37.14)	17	H-348x174x8x9 H-300x150x8.5x9	(51.90) (37.28)	16	H-400x400x13x21 H-344x348x10x18 H-300x150x8.5x9 H-175x90x5x8	(116.15) (112.35) (72.05) (37.28)
21-25	[150x75x8.5x10	(73.71) (55.15)	21-25	[150x75x8.5x10 [125x85x8x8 [100x50x5x7.5 [75x40x5x7 [200x70x7x10	(73.71) (55.15) (37.28) (29.90) (17.12)	21-25 26 27 54 28 29 30 55 50 51 53 52	[150x75x8.5x10 [250x90x11x15 [125x85x8x8 [100x50x5x7.5 [75x40x5x7 [150x75x8.5x10 [180x75x10x15	(73.71) (55.15) (37.28) (29.90) (29.90) (12.44) (17.12)
31-44 46-49	2[-150x75x8.5x10	47.42 (30.30)	31-40	2[-75x40x5x7 2[-150x75x8.5x10 2[-125x85x8x8	17.30 (8.89) (37.28) (18.73)	31 32 43 35-40 44 38 41 39 42 48 42 48	2[-75x40x5x7 2[-125x85x8x8 2[-150x75x8.5x10 2[-100x50x5x7.5 2[-200x70x7x10	17.30 (8.89) (37.28) (30.30) (29.90) (34.24)
45	2[-150x75x8.5x12.5	61.18 (44.38)	45	2[-200x80x7.5x11	61.90 (41.88)	45	2[-125x85x8x8	33.88 (10.72)
総鋼材量	0.36 m ³		総鋼材量	0.26 m ³		総鋼材量	0.28 m ³	

な構造で高さ10mのものを設計対象とし、図-2に示す設計荷重を用いた。なお、枠組内部から作用している荷重は中詰材圧であり、静止土圧係数 $K_s=0.5$ を用いたランキン土圧によって求めた。

4. 設計結果と考察

(1) 部材断面と総重量

表-2に初期値と最適設計結果の部材断面表を示す。

ここで、初期値は許容応力度法による設計手順書にしたがったものである。表より、最適設計後の結果は、前後壁面が大きな断面配分となっている。しかし、全般的に部材断面は確実により小さな部材に置換されている。よって、全鋼材体積は最適化前で 0.36m^3 (100%)に対し、最適化後では 0.25m^3 (69%)と約30%の材料軽減が図られている。

(2) 応力分布

図-3に最適化後の実部材配置における応力比（応力/許容応力）分布を示す。これより、最適化後においては応力比が確実に均一化されていることが確認される。

(3) 計算収束状況

図-4には計算回数（解析）ごとの全鋼材体積の変化を示す。これより、この最適化手法は、5回の繰り返し計算で解を得ており、効率良く収束計算を行っていることが分る。式(4)による設計改良は、数理計画手法による感度解析を行っていないにも拘らず、比較的充分な改良値を与えていることが確認できる。

(4) 中詰材のせん断抵抗力を考慮した最適設計の試行

中詰材は外荷重によるせん断変形にともなって抵抗力を発揮することが考えられるが、この中詰材圧分布については未だ研究途上²⁾であるので、ここでは、砂質土に適用できる北島の式³⁾を用いた中詰材圧を入れて設計する場合を試行してみる。図-5に設計荷重分布を、表-2に設計結果の部材断面表を示す。これより、①荷重分布が変化しても本法によって輕易に最適化が可能であり、最適化前より約22%の重量軽減となっている。②北島の式を用いると後壁面下部に集中して中詰材圧が作用するため、後壁面(16, 17, 18, 19, 20)に大きな部材を配置する設計へと変化することがわかる。しかし、北島の式はせん断変形の大きさに無関係な崩壊状態に基づく式であるので、せん断変形を考慮した中詰材圧分布が必要である。これについては現在検討中である²⁾。

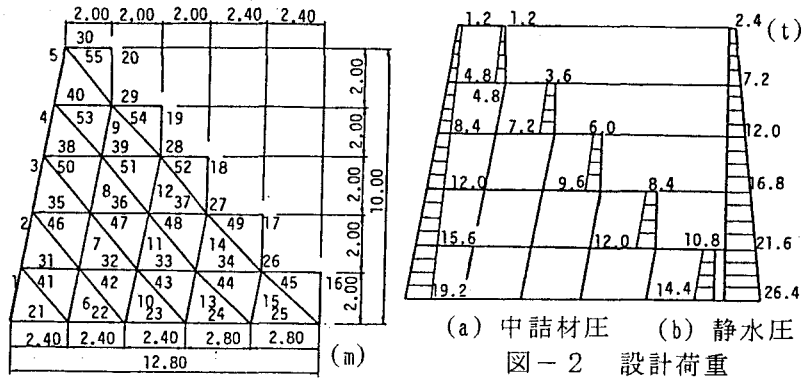


図-1 鋼製枠構造物

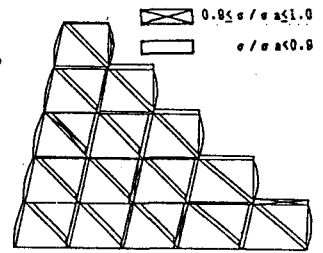


図-3 応力比分布

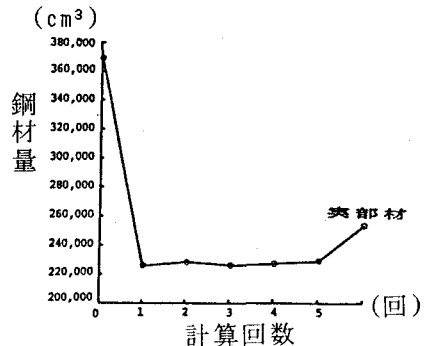


図-4 全鋼材体積の変化

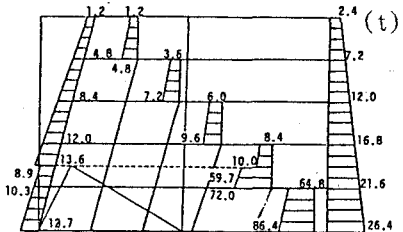


図-5 北島式を考慮した設計荷重

- 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) 加瀬 香月、石川 鈴木：土木学会関東支部技術研究発表会、平成2年3月
 3) 北島昭一：セル岩盤の安定性に関する研究、運輸省港湾技術研究報告、Vol12, No.3, 1962