

鋼製砂防堰堤のリダンダンシー評価指標の基礎的検討

防衛大学校 学生会員 ○片出 亮 正会員 香月 智

1 緒言

写真-1 に示す鋼製砂防堰堤は、土石流対象構造物であるが、想定外の事象により構成部材が消失することがある¹⁾。そのため、2007年に改定された土石流対策指針では、鋼製砂防堰堤の設計に十分なリダンダンシーを備える必要性を言及している。しかし、その評価方法や許容限界は具体化されていない。ところで、リダンダンシーを評価するには破壊確率計算もしくは信頼性解析を行う必要があるが、砂防堰堤の設計業務にこれを導入するのは現実的ではない。そこで本研究は、立体骨組構造解析における剛性マトリクスの不静定次数の簡易推定式を基礎とするリダンダンシー評価法を提案し、その有用性について基礎的に検討する。

2 提案手法

不測荷重に対するリダンダンシーは構造形状の有する余裕度のことであり、構造安定を確保できる静定構造系に対する余剰部材をどの程度有している構造であるかという観点で指数化することが適切ではないかと考えられる。そこで研究では、不静定次数が部材本数換算でどの程度であるかを示す基準として、構造形状のリダンダンシーを評価する指標を次式とすることについて検討する。

$$I_C = \frac{1}{6}[6m - (6n - k)] \tag{1}$$

ここで、 I_C ：リダンダンシーを評価する指標であり、部材指数と呼ぶものとした。

3 計算例と考察

本研究では、既存構造物を対象として図-1 に示す6つのモデルを対象に解析を行う。この際、形状によるリダンダンシーの差異を評価するため、高さ 8m、正面幅 6m となるように修正し、各構造の部材指数を表-1 のように算出した。

ところで、現行設計では施工条件等を考慮して各部材応力は必ずしもフルストレス設計状態になっていない。さらに、現行設計法において構造物を構成する鋼管部材には余裕しろ等を設定するように規定していることから、多部材レベルで異なる安全余裕があるように設計されている。したがって、部材指数が構造物の有するリダンダンシーに与える影響を比較分析するには適さない。そこで、図-2 および表-3 に示す設計荷重および基本荷重諸元を用いてフルストレス設計を行い、構造型式間の均一性を保つものとした。

以上の設計結果に対し、図-2 に示す設計荷重の土石



写真-1 鋼製砂防堰堤

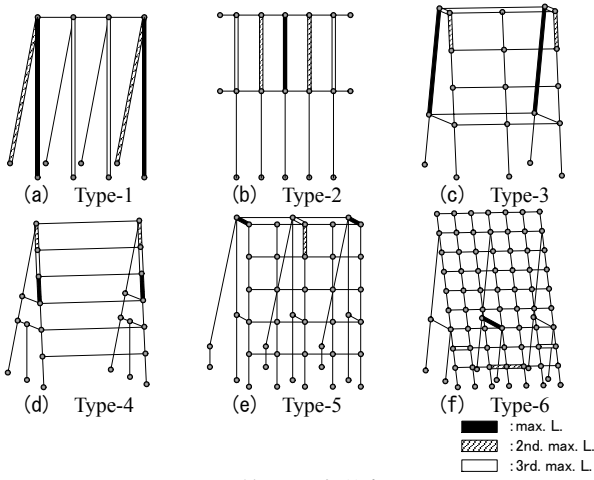


図-1 検討構造型式

表-2 部材指数

構造型式	部材数 [m]	節点数 [n]	自由度 [k]	部材指数 [I _C]
Type-1	11	12	48	7
Type-2	22	19	54	12
Type-3	30	21	30	14
Type-4	33	24	36	15
Type-5	65	45	66	31
Type-6	129	79	78	63

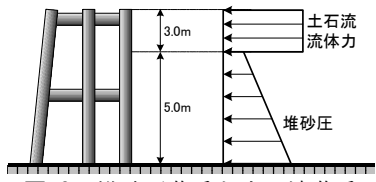


図-2 堆砂圧荷重と土石流荷重

表-3 設計荷重条件

土石流	流体力	269.7kN/m
	水深	3.0m
	流速	7.0m/s
	単位体積重量	18.0kN/m ³
堆砂	厚さ	5.0m
	単位体積重量	17.7kN/m ³

キーワード 鋼製砂防堰堤、リダンダンシー、部材指数
連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-20-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 046-841-3810
E-mail g45058@nda.ac.jp

流荷重を比例的に増加させて、静的弾塑性解析を行った。なお、各部材要素断面での降伏関数は次式とし、降伏後は硬化しない完全弾塑性モデルとした。

$$\left(\frac{M_1}{M_p}\right)^2 + \left(\frac{M_2}{M_p}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_p}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_p}\right)^2 \leq 1.0 \quad (2)$$

ここで、 M_1 、 M_2 ：断面の第1軸および第2軸周りのモーメント、 N ：断面軸力、 T ：断面のねじりモーメント、 M_p ：断面の全塑性モーメント、 N_p ：断面の全塑性軸力、 T_p ：断面の全塑性ねじりモーメント。

図-3に示す崩壊荷重係数と部材指数との関係からは、部材指数と土石流荷重の大きさに対するリダンダンシーとの関係には良い相関性は見いだせない。言い換えると、弾性応答において最適設計された構造の有する不測荷重増加に対する弾塑性応答に関する冗長性もしくは余裕度と余剰部材数とは直接的に関係がないことがわかる。

次に、特定の部材が消失した場合の土石流荷重に対する構造全体の抵抗力の保持能力について基礎的に検討する。ここでは、簡易に各部材の構造物の最大耐力に及ぼす影響を感度分析し、感度の高い部材の消失が与える影響について検討する。ここで、部材感度係数 L_i は図-5の土石流荷重が比例増加したとする仮定において、健全な状態の構造が支持することのできる最大荷重 α_o に対し、その i 部材が消失した構造状態が支持することのできる最大荷重 α_{Li} を評価し、その低下率を部材感度係数として次式により評価する。²⁾

$$L_i = \frac{\alpha_o - \alpha_{Li}}{\alpha_o} \quad (21)$$

各構造の各部材感度を図-4に、重要部材は図-1の太線で示した。Type-1は感度大きな部材を多く有するのに対し、Type-5, 6では消失しても構造耐力が全く失わない部材が多数あることがわかる。

さて、部材が消失するシナリオは不確定であるので、必ずしも感度の高いものが消失するわけではない。そこで、仮に全ての部材の消失確率が等しいと仮定した場合の残存保有耐力について分析した。すなわち、1部材除去検討では一つ一つの部材について除去した場合の保有耐力を求め、健全構造の耐力で除した残存耐力比を算出する。2部材(または3部材)除去検討では、 L_i の1(または1~2)番目に大きな部材を除去部材として固定したうえで、残存耐力比を求めるものとした。検討結果を部材指数と残存耐力比の関係によって図-5に示すと、部材指数と平均残存耐力比との関係は明瞭に正の相関関係が見受けられ、部材指数によって鋼製砂防堰堤のリダンダンシーもしくは頑健性能の簡易評価の目安とすることの妥当性が認められる。

4 結言

本研究は、鋼製砂防堰堤のリダンダンシー評価について、構造形状の有する不静定次数を基礎とする部材

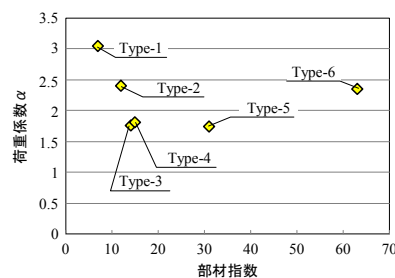


図-3 崩壊荷重係数～部材指数

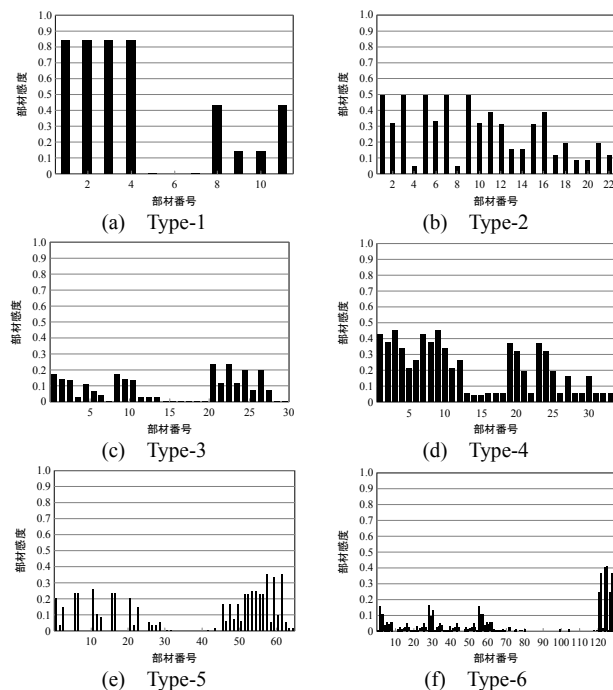


図-4 部材感度

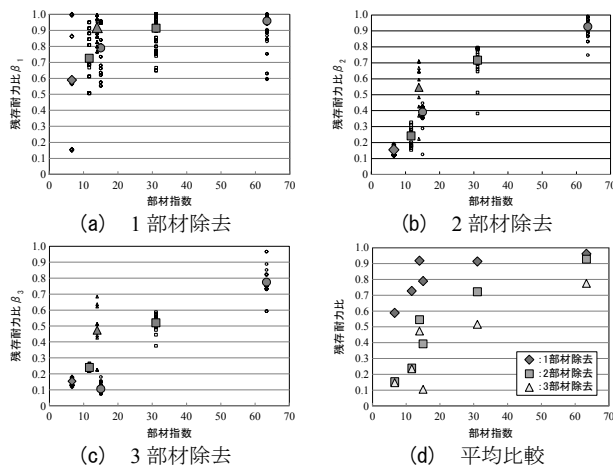


図-5 残存耐力比～部材指数関係

指数を参考情報として評価することを提案した。ここで示した検討手法は比較的簡便な弾塑性解析をベースとしており、性能設計における審査過程などの実用上のリダンダンシー評価法の参考となり得る。

参考文献

- 1) 今井一之, 中村敏幸, 葛西俊一郎: 南股第4号砂防えん堤の補強工事, 平成20年度砂防学会研究発表会概要集 O6-8, pp.294-295, 2008.5.
- 2) 伊藤拓海, 大井健一, 李正林: 円直荷重を受ける骨組構造物の冗長性に関わる感度解析, 日本建築学会構造系論文集, 第593号, pp145-151, 2005.7.