

10 衝撃応答モデルをもちいた砂防ダム袖部の鉄筋補強設計

建設省土木研究所

石川 芳治

建設省土木研究所

前田 昭浩

京都大学農学部

水山 高久

八千代エンジニアリング株式会社 ○ 下田 義文

1. はじめに

平成6年には鉄筋コンクリート砂防ダムの設計について研究を行い、従来の重力式コンクリート砂防ダムに比較して、ダムサイトの条件しだいでは有利になることを示した¹⁾。また、静的載荷実験の結果に基づき鉄筋コンクリート砂防ダムは土石流衝撃力に対してもかなり抵抗力があることを概念的に示した。今回は、衝撃模型実験に基づき多質点系衝撃応答モデルを作成し、これを用いて砂防ダム袖部の鉄筋による補強設計を行ったので報告する。

2. 衝撃応答解析モデルの検討

2.1 モデルの概要

砂防ダム袖部を本体に固定された片持ちばりに仮定し、これを図-2.1に示すように数個の要素に分割する。この要素を曲げバネ、せん断バネとそれぞれの減衰を表すダッシュポットで連結し応力を伝えるモデルとした。多算点系減衰モデルは先に用いた2質点系モデル²⁾と同様に衝撃力を巨礫との相互応答として計算できるのに加えて、片持ちばりの高次の変形モードを表現できる特徴がある。基本式である下記の運動方程式を差分化し、オイラー法による陽解析を行い、加速度、速度、変位、荷重を逐次求めた。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = P \quad \dots\dots (2.1)$$

M : 質量マトリックス

C : 減衰マトリックス

K : 剛性マトリックス

P : 外力マトリックス

$\ddot{u}$: 加速度ベクトル

$\dot{u}$: 速度ベクトル

u : 変位ベクトル

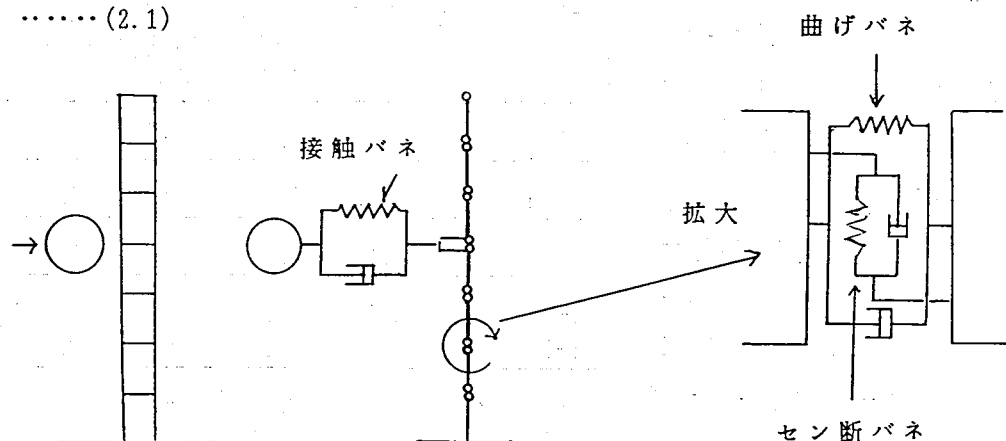


図-2.1 衝撃応答計算モデル

2.2 衝撃模型実験によるモデルの検証

(1) 計算条件と計算ケース

図-2.2に示す平成5年に実施した衝撃模型実験結果を用いてモデルの検証を行った。袖部模型のコンクリート片持ちばりを10要素に分割し、剛性マトリックスを構成するバネ定数はコンクリートの弾性係数およびポアソン比等から求めた。また、減衰マトリックスを構成する減衰定数Cは $C=h\sqrt{MK}$ (M:質量、K:バネ定数、h:減衰係数) から求めた。ここで、巨礫の衝突する点の減衰係数は実験結果に基づき $h_0=0.3$ と仮

定した。一方、梁自身の減衰係数は未知数とし、衝撃荷重の最大値および最大変位が実験結果と一致するようにトライアルにより定めた。計算における定数および計算ケースをそれぞれ表-2.1に示す。

表-2.1 計算定数と計算ケース

項 目	記 号	単 位	ケ ー ス	
			単鉄筋	複鉄筋
① 分割数	N	—	10	10
② はり長	L	cm	50.0	50.0
③ 局部バネ定数	K	kgf/cm	$9.7 \times 10^4 \delta^{0.5}$	$9.7 \times 10^4 \delta^{0.5}$
④ 局部減衰係数	H ₀	—	0.3	0.3
⑤ 衝突位置	NATP	—	7	7
⑥ コンクリートのヤング率	E	kgf/cm ²	1.8×10^5	1.8×10^5
⑦ 体積弾性係数	G	kgf/cm ²	0.75×10^5	0.75×10^5
⑧ せん断面積	A	cm ²	400.0	400.0
⑨ 断面2次モーメント	I	cm ⁴	3.3×10^3	3.3×10^3
⑩ はりの重量	W	kgf	47.0	47.0
⑪ はりの降伏モーメント	M _p	kgf·cm	4.0×10^4	4.2×10^4
⑫ はりのせん断力	S _p	kgf	1.12×10^4	1.12×10^4
⑬ 重錐重量	W ₀	kgf	100.0	100.0
⑭ 速度	V ₀	cm/sec	110	110
			269	277
			643	509
				719

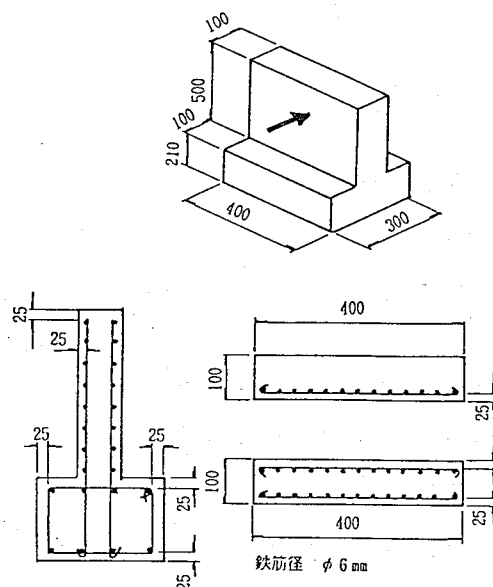


図-2.2 衝撃模型実験³⁾

(2) 計算結果

実験値と比較するために、接触点の最大荷重および接触点の最大変位（荷重=0となる点の変位）の計算値を表-2.2および図-2.3に示す。図-2.3に示すように、はり自体の減衰係数 $h=0.2$ としたケースが最も実験値と一致している。図-2.3(1)で、単鉄筋で $V=64$ 3cm/sのケースで実験値と計算値の差が大きいが、これは片持ちばりが完全に崩壊した実験ケースであり、計算モデルの適用外と考えられる。

接触点の減衰係数 $H_0=1.0$, 0.5 としたケースを参考として計算し、図-2.3(1)に示しているが、 $H_0=1.0$ は実験値に対

表-2.2 計算結果

ケース No.	配 筋	計算条件			計算結果		実験結果	
		速度	はりの減衰係数	接触点の減衰係数	最大荷重 ton	最大変位 mm	最大荷重 ton	最大変位 mm
0	単鉄筋	1.10	0.2	0.3	3.4	1.7	—	—
1	〃	2.69	0.2	〃	8.0	4.6	9.0	4.6
2	〃	6.34	0.2	〃	18.0	14.3	14.2	31.4
3-1	複鉄筋	1.10	0.2	〃	3.4	1.7	3.8	2.7
3-2	〃		0.05	〃	3.5	1.9		
4-1	〃	2.77	0.2	〃	8.3	4.7	12.2	5.8
4-2	〃		0.05	〃	7.6	4.5		
5-1	〃	5.09	0.2	〃	14.5	9.8	20.5	8.8
5-2	〃		0.05	〃	13.9	12.0		
6-1	〃	7.19	0.2	〃	20.7	17.0	21.5	18.4
6-2	〃		0.05	〃	19.9	20.3		
7-1	単鉄筋	2.69	0.2	1.0	14.2	2.9	9.0	4.6
8-1	〃	2.69	〃	0.5	9.2	5.1	9.0	4.6

し最大荷重は大き過ぎ、変位が小さ過ぎる。 $H_0=0.5$ としたケースは、 $H_0=0.3$ のケースと大差なく、実験値と合致しているが、コンクリート塊の衝突実験から求めた値が $H_0=0.3$ であることから、 $H_0=0.3$ を採用する。一方、梁自体の減衰係数 h は複鉄筋のケースでは $h=0.2$ と 0.05 を実施しているが、 $h=0.05$ では最大荷重が小さくなる傾向があり、一方、変位は速度の大きいところで大きくなる傾向があり、実験と合致しない。従って、 $H=0.2$ を採用する。

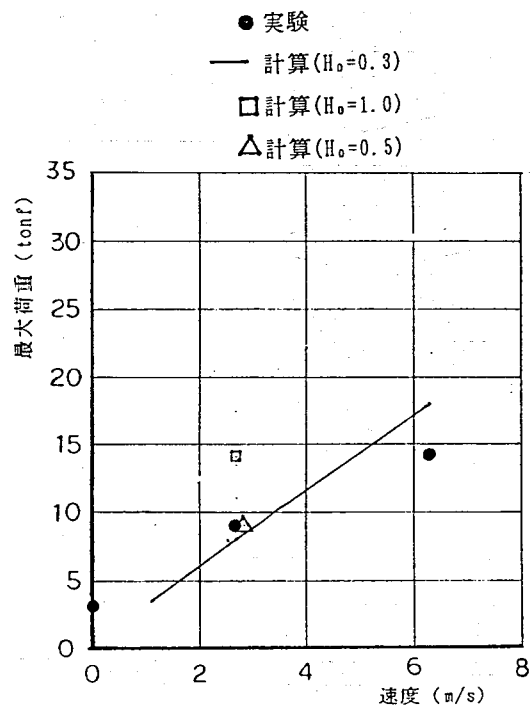


図-2.3(1) 計算結果 (単鉄筋)

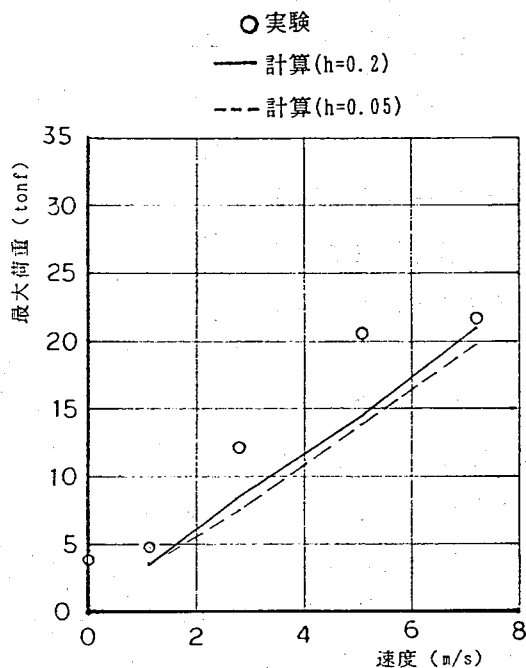


図-2.3(2) 計算結果 (複鉄筋)

3. 砂防ダム袖部の補強設計

3.1 設計手順

土石流対策技術指針(案)に示す砂防ダム袖部の設計の具体的方法として、図-3.1のフローチャートに従った設計方法を考えた。この設計方法は、大きく静荷重設計、衝撃力設計、補強設計の3段階に区分できる。ここで、衝撃力設計は静荷重で設計した袖形状において、巨礫の衝撃力による応力をチェックするもので、補強設計は衝撃力設計において、許容応力以上の応力が発生する場合に、鉄筋による補強および緩衝材による防護を設計する。

図-3.1のフローチャートに従い、
下記の条件の砂防ダム袖部の設計を
行った。

設計洪水位	3.4m
土石流流速	7m/sec
最大礫徑	1.0m
土石流波高	2m
袖高	4m

袖天端厚 $d = 3.0\text{m}$ では土石流流体圧時の上流端に引張り応力が生じるので、引張り応力が生じない天端厚 $d = 3.5\text{m}$ とする。

巨礫はフロント表面に集中すると考えて、袖根元から1.5mの位置に作用すると仮定する。梁を高さ方向に8分割し、1要素は幅3.5m、高さ0.5m、最少ブロック長は6.0mと仮定する。

第2章で示したモデルを用いて衝撃
応答解析を行った結果、袖部根元（節
点 N1）および打撃点（節点 N4）の

発生モーメントが $M = 1.66 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{cm} > M_p = 1.23 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ となり、曲げモーメントが許容値を越えている。従って、鉄筋による補強を行う。

発生モーメント $M=1.66 \times 10^7 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ であるので、許容曲げモーメントが $M_a > 1.7 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ となるような配筋を行う。衝撃応答の揺返しがあるので、上下流に配筋するものとし、必要配筋量を求める。最少鉄筋量としてD16を20cm間隔に配筋すると、6mブロックでの配筋量は $a_t=152 \text{ cm}^2$ となり、許容曲げモーメントは $M_p=1.66 \times 10^7$ となる。一方、前述と同様な衝撃応答計算を行った結果、発生曲げモーメントは $M=1.37 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ （接点N4）となり、 M_p 以下であり安定条件を満足する。

この研究を行うにあたり、防衛大学の石川信隆教授、鈴木真次研究員および山口大学の古川浩平教授の御協力を得たことを報告するとともに感謝の意を表します。

1)石川芳治、石塚忠範、前田昭浩、水山高久、下田義文：砂防施設の鉄筋補強に関する研究、平成6年度砂防学会研究発表会概要集、(社)砂防学会、PP.239～242、平成6年5月

2) 水山高久、下田義文、石川信隆：コンクリート製砂防ダムに対する巨礫の衝撃模型実験に関する一考察、構造工学論文集、Vol. 35A、pp. 1095～1104、1989年3月

3) 鈴木真次、石川信隆、水山高久、石川芳治、下田義文：R C 砂防ダム袖部の衝撃破壊モデル実験、平成 6 年度砂防学会研究発表会概要集、(社)砂防学会、PP. 219～222、平成 6 年 5 月

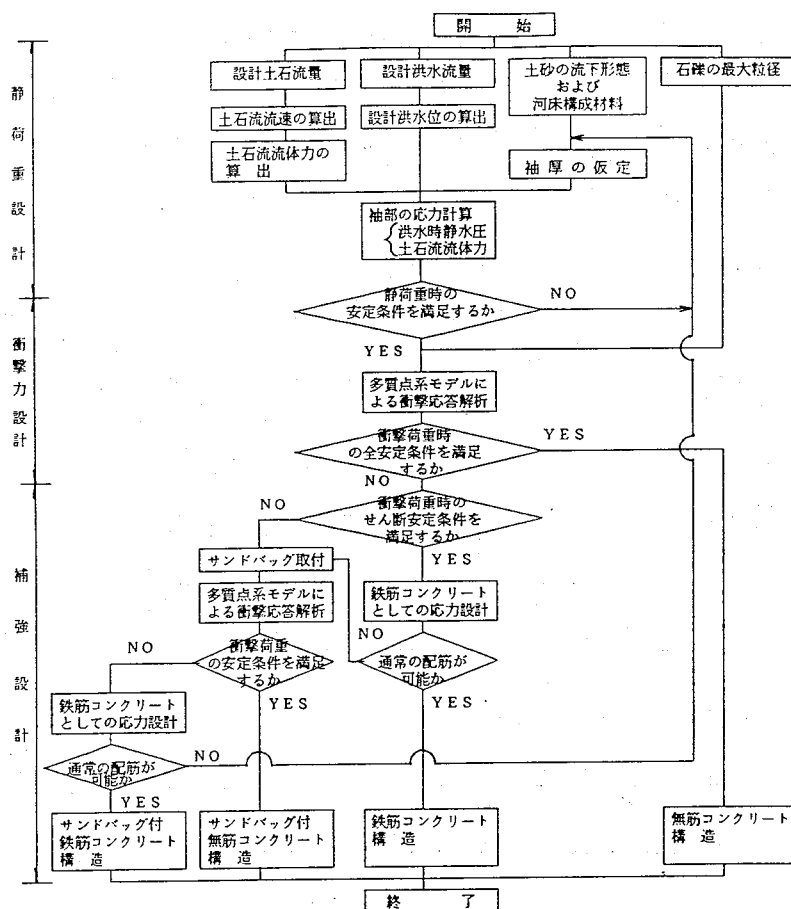


図-3.1 袖部設計のフローチャート