

6 ダブルウォール砂防ダムの衝撃破壊限界に関する実験

防衛大学校土木工学科 ○伊藤一雄 防衛大学校土木工学科 香月 智
防衛大学校土木工学科 石川信隆 砂防・地すべり技術センター 阿部宗平
共生機構株式会社 中村 徹

1. 緒言

ダブルウォール砂防ダム¹⁾は、写真-1に示すように鋼矢板やエキスパンドメタルで作られた壁材の間に砂や礫の中詰材を詰めた砂防ダムで、従来掃流区域に建設されてきたが、現在土石流区域にも数多く建設されるようになってきた。しかし、土石流中の巨礫の衝突に対する応答や設計手法については未解明なままである。そこで本研究は、本構造物の衝撃設計法確立のための第一段階として、ダブルウォール砂防ダムの縮小モデルを用いた衝撃実験を行い、その衝撃挙動と破壊メカニズムの検討を行ったものである。

2. 実験の概要

2.1 供試体

ダブルウォールの縮小モデルは、図-1および写真-2に示す高さ50cm、長さ160cmの鋼板(1.6mm, 3mm, 6mmの3種類)をタイ材(2mm鋼線を使用、横方向30cm、縦方向20cm間隔)で奥行80cmに連結し、その内部に砂(ケイ砂5号)を充填したものである。両端にはアクリル板、底面には全面にサントペーパーを貼り付けた基礎底板を用い、供試体を固定せずに設置した。また、中詰の砂は充填時での総重量1tf(単位体積重量 $\gamma=1.56\text{gf/cm}^3$)の密詰めと、総重量0.9tf(単位体積重量 $\gamma=1.41\text{gf/cm}^3$)の緩詰め²⁾の2種類を作成した。

2.2 実験装置

(1) 静的実験 供試体に、油圧ジャッキによって水平方向に点载荷により静的荷重を加えた。载荷点は、ダム下端から15cmの下側载荷とダム上端から15cmの上側载荷の2種類行い、荷重は油圧ジャッキの先端に取り付けたロードセルで、変位は図-2に示すような供試体の表・裏面鋼板それぞれ12点をレーザー式変位計により計測した。実験ケースは表-1(a)に示すように、载荷位置、鋼板厚さ、砂の詰め方の組み合わせにより計6ケースとした。

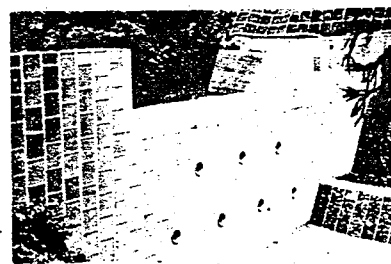


写真-1 ダブルウォール砂防ダム

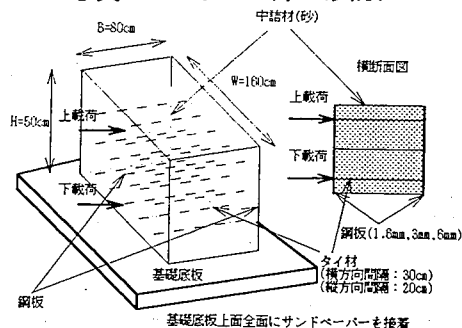


図-1 実験供試体

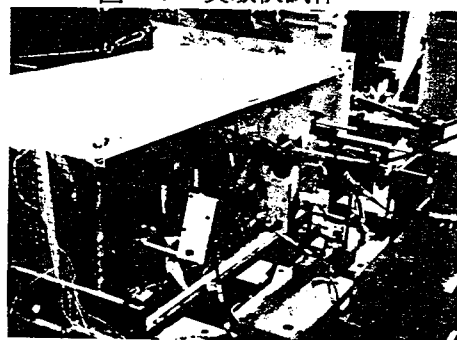
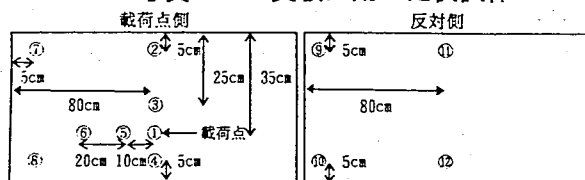
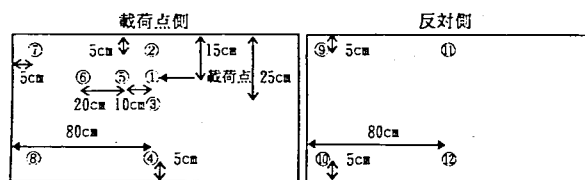


写真-2 実験に用いた供試体



(a) 上载荷時の変位計測ポイント



(b) 下载荷時の変位計測ポイント

図-2 変位計測ポイント

表-1 実験ケース

(a) 静的実験				(b) 衝撃実験			
板厚	詰め方	載荷点	供試体名	板厚	詰め方	載荷点	速度
1.6mm	緩	下	S1.6L-1,-2	1.6mm	緩	下	3m/s
3mm	緩	下	S3L-1,-2	3mm	緩	下	3m/s
6mm	緩	下	S6L-1,-2	6mm	緩	下	3m/s
3mm	密	下	S3D-1,-2	3mm	緩	下	1m/s
3mm	緩	上	S3U-1,-2	3mm	緩	下	5m/s
				3mm	密	下	3m/s
				3mm	緩	上	3m/s

※各供試体×2体

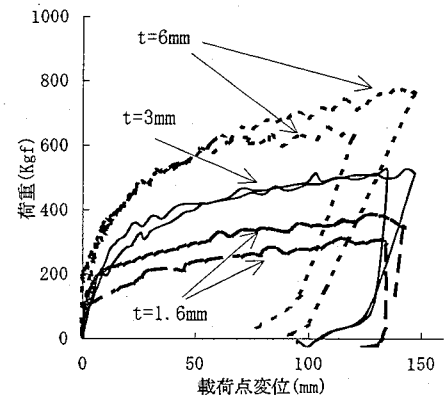
(2) 水平衝撃実験 水平衝撃実験装置を使用し、100Kgfの重錘を衝突速度1 m/s、3 m/s、5 m/sの3種類の速度で供試体に衝突させた。表-1 (b)に実験ケースを示す。計測項目は、重錘の加速度を加速度計によって、供試体の変位は静的実験と同じ箇所をレーザー式変位計で計測した。衝突荷重は計測された重錘の加速度に質量を乗じて算定した。

3. 実験結果および考察

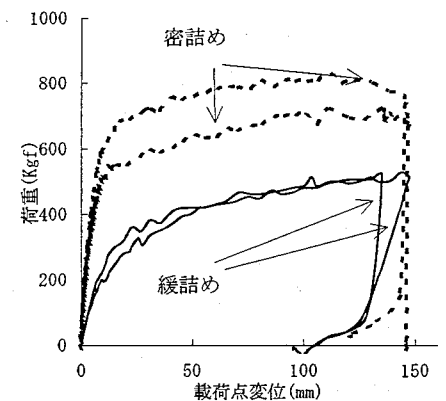
3. 1 静的実験

(1) 荷重～載荷点変位関係 図-3に静的実験から得られた荷重～載荷点変位関係を示す。すなわち、変位約15mmまでに急激に荷重が増加し、以降は徐々に荷重が増加する硬化型の弾塑性挙動である。図-3 (a)より鋼板が厚く剛性が高まると荷重が大きくなるのがわかる。また、図-3 (b)より中詰を密に詰めた方が荷重が大きくなり、せん断抵抗力が約1.7倍も増すことがわかる。図-3 (c)の載荷点の影響では、下載荷の方が上載荷より耐力は大きくなるのがわかる。

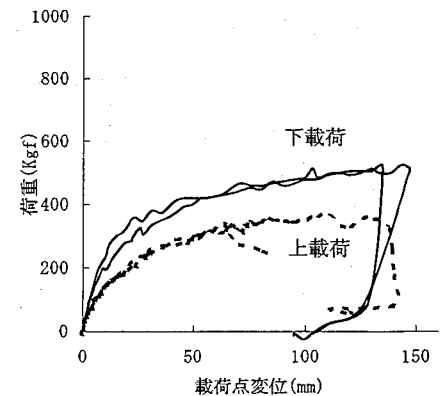
(2) 変形挙動 図-4 (a)～(c)は、載荷点変位が10cmに達したときの上方から見た載荷点側鋼板の変位分布を示したものである。図-4 (a)より、鋼板厚が薄い $t=1.6\text{mm}$ は載荷点付近に変形量が集中し、厚いほど変位分布が広範囲になっていることがわかる。図-4 (b)より砂の詰め方は、変位分布にほとんど影響を及ぼさないことがわ



(a) 板厚の影響 (下載荷, 緩詰め)

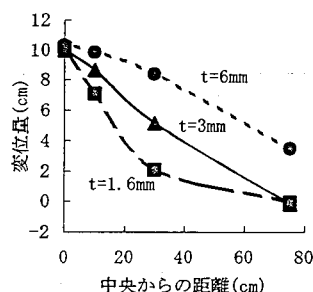


(b) 詰め方の影響 (t=3mm, 下載荷)

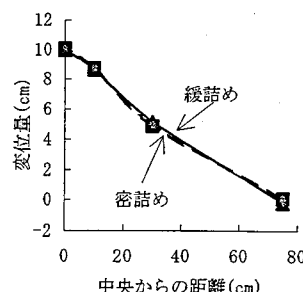


(c) 載荷点の影響 (t=3mm, 緩詰め)

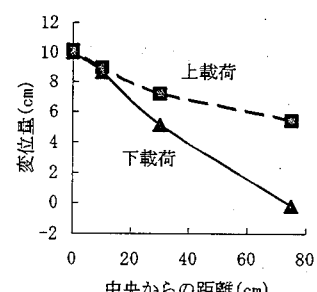
図-3 荷重～変位関係



(a) 板厚の影響 (緩詰め, 下載荷)



(b) 詰め方の影響 (t=3mm, 下載荷)



(c) 載荷点の影響 (t=3mm, 緩詰め)

図-4 供試体載荷点側面の変形量

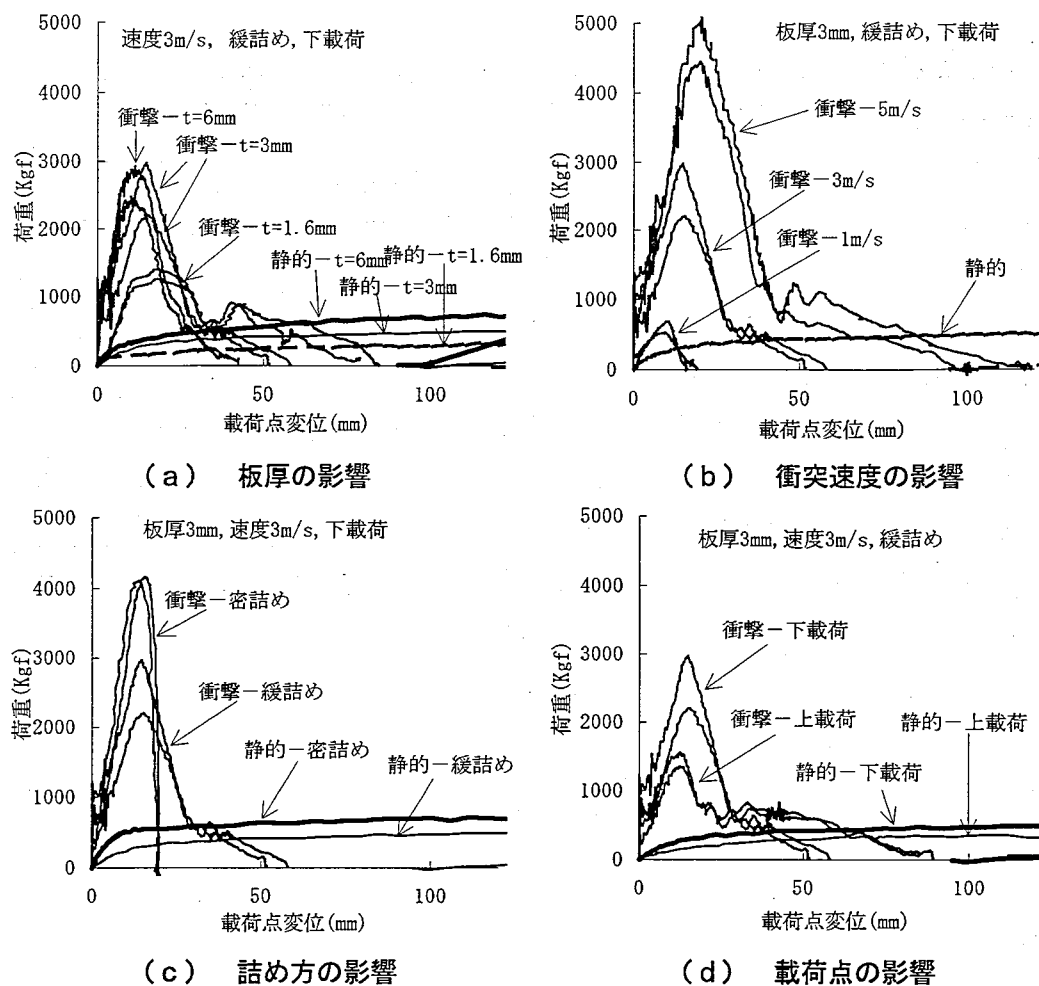


図-5 衝撃実験荷重～変位関係

かる。図-4(c)では載荷点位置による比較をしているが、上載荷の方が広範囲に変位が分布している。

3. 2 水平衝撃実験

(1) 荷重～載荷点変位関係

図-5に水平衝撃実験から得られた荷重～変位関係を静的実験結果と比較して示す。水平衝撃実験から得られた荷重は、静的実験に比して極めて大きくするどい山形の立上りを示し、変位 30mm 以降では、静的な荷重とほぼ同程度の荷重となっている。図-5(a)より、最大荷重は $t=1.6\text{mm}$ よりも $t=3\text{mm}$ と $t=6\text{mm}$ の方が約 2 倍程度大きくなり、鋼板厚が大きいほど最大荷重が大きくなる傾向がある。一方、最大応答変位はそれぞれ 8 cm ($t=1.6\text{mm}$)、5.5 cm ($t=3\text{mm}$)、4 cm ($t=6\text{mm}$) となり、板厚の薄い方が最大応答変位は大きくなる。図-5(b)より、衝突速度が大きいほど、荷重および最大変位とも大きくなることわかる。図-5(c)は、砂の詰め方の影響を表しているが、砂を密に詰めた方が、最大荷重が大きくなることがわかる。図-5(d)より、上載荷は、下載荷に比べて最大荷重は小さく、最大応答変位は大きくなっている。

(2) 吸収エネルギー比

表-2に静的実験と水平衝撃実験の吸収エネルギー比を示す。これは、重錘の運動エネルギーと衝撃実験時の最大応答変位に相当する変位で静的実験において吸収できるエネルギーとの比を表したものである。これより、静的に比べて衝撃実験での吸収エネルギーが約 1.7 倍～5.3 倍大きいことがわかる。衝突速度の影響をみると衝突速度が早いほどエネルギー比は大きくなる傾向を示しており、また、密に詰めるほ

ど大きくなっていることがわかる。特に密に詰めた供試体は、約5倍もエネルギー吸収比が向上している。

(3) 変形挙動

図-6(a)～(d)は、水平衝撃実験での上方から見た载荷側鋼板の変位分布を示したものである。図-6(a)より、板厚1.6mmと3mmでは静的実験に比べて衝撃実験の方が载荷点付近に変形量が集中していることがわかる。しかし、板厚6mmでは静的と衝撃の変形挙動に明瞭な差はなく、板圧が厚くなると3m/s程度の速度では変形形態は静的とあまり変わらないことがわかる。図-6(b)より、衝突速度が大きいほど静的実験に比べて衝突実験の変形がやや载荷点付近に集中している。図-6(c)では、密詰め、緩詰めの場合の如何に拘わらず衝撃実験の方が载荷点付近に変形が集中している。すなわち、中詰材の詰め方が変形分布に及ぼす影響は静的および衝撃実験ともさほど大きくはない。図-6(d)は载荷位置の影響を示すが、衝撃実験の上载荷の場合の方が载荷点付近に変形が集中していることがわかる。

表-2 吸収エネルギー比(水平衝撃/静的)

供試体名	V_1 (m/s)	E_H (Kgf·cm)	D (mm)	E_s (Kgf·cm)	E_H/E_s
I1.6L3-1	3.10	4900	85	2031	2.41
I1.6L3-2	3.10	4900	79	1823	2.69
I3L3-1	3.11	4930	58	1810	2.72
I3L3-2	3.17	5125	52	1582	3.24
I6L3-1	2.93	4380	40	1588	2.76
I6L3-2	3.09	4870	42	1770	2.75
I3L1-1	1.09	606	19	367	1.65
I3L1-2	1.15	674	16	282	2.39
I3L5-1	5.12	13370	119	4723	2.83
I3L5-2	5.04	12950	101	3810	3.40
I3D3-1	3.10	4900	20	960	5.1
I3D3-2	3.15	5060	20	960	5.27
I3U3-1	3.22	5288	89	2289	2.31
I3U3-2	3.07	4807	85	2067	2.33

V_1 : 衝突速度, E_H : 重錘の運動エネルギー, D: 最大応答変位,
 E_s : 静的実験の変位=Dでの吸収エネルギー, E_H/E_s : 吸収エネルギー比

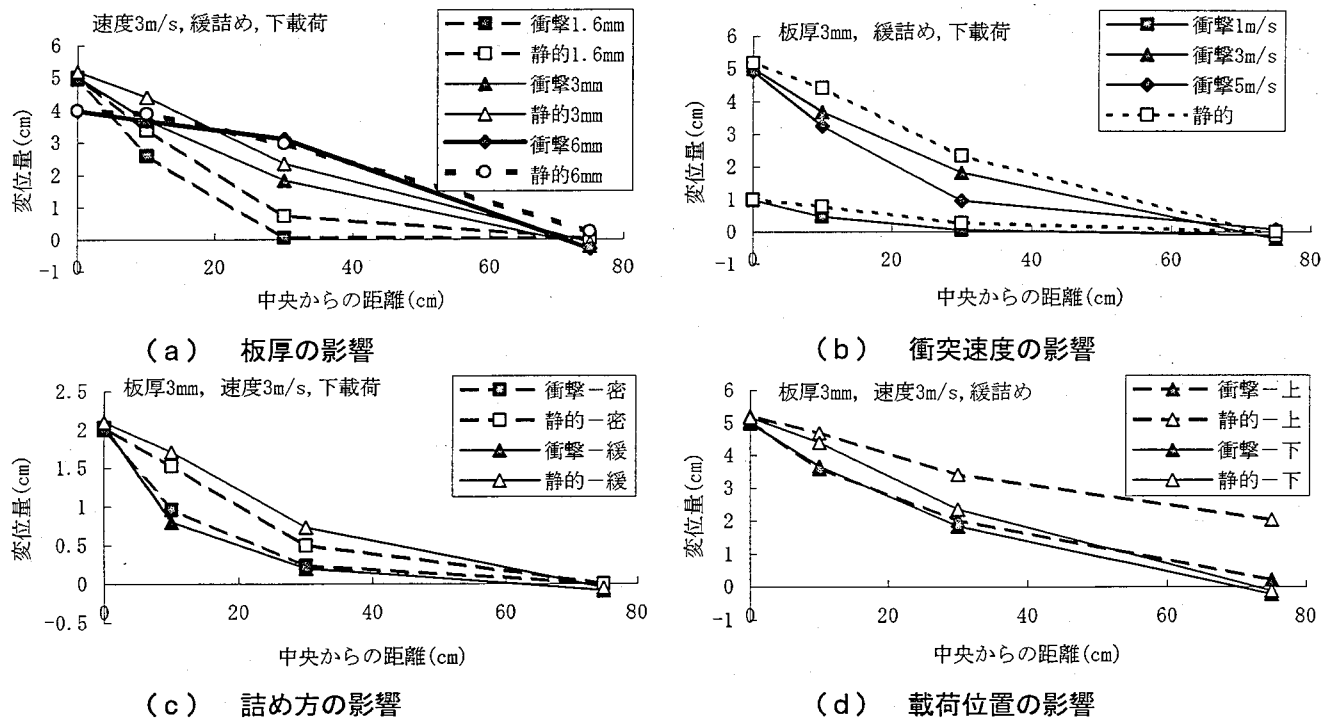


図-6 衝撃実験での供試体载荷側面の変形量

4. 結言

本研究の結果をまとめると以下のようなになる。

- (1) 板厚を厚く、また砂を密に充填すると静的および衝撃に対する抵抗力が大きくなる。
- (2) 衝撃実験での吸収可能エネルギーは、同一変位での静的実験に比べて約2～5倍も大きくなる。
- (3) 板厚が薄いほど、また衝突速度が大きいほど変形が载荷点付近に集中する。

参考文献: 1) 鋼製砂防構造物委員会: 鋼製砂防構造物設計便覧, pp. 59～60, 平成5年