

81 鉄筋で補強したコンクリート製砂防 ダムの衝撃模型実験について

防衛大学校 ○鈴木 真次 石川 信隆
筑波大学 山崎 義浩
建設省土木研究所 石川 芳治
京都大学 水山 高久

1. 緒言

現在、土石流防護のために急流河川域において、コンクリート製砂防ダムが建設されているが、その殆どは無筋コンクリートであるため、土石流中の巨礫の衝突によりダムの袖部がしばしば破壊される例がみられた。そこで本研究では、鉄筋によって補強したコンクリート製砂防ダムの衝撃応答特性を把握するため、その基礎的段階として無筋および鉄筋コンクリート製片持ちはりの模型を作成し、静的および衝撃载荷実験を行って、はりの耐力、変位、吸収エネルギーおよび破壊形態について検討を行ったものである。

2. 実験の概要

2.1 供試体

実験には図-1のような3タイプの供試体を用意し、500それぞれAタイプ（無筋）、Bタイプ（1列配筋）、Cタイプ（2列配筋）とした。使用したモルタルの諸元は表-1に示す。鉄筋は全てD6を用い鉄筋量は表-2に示す。

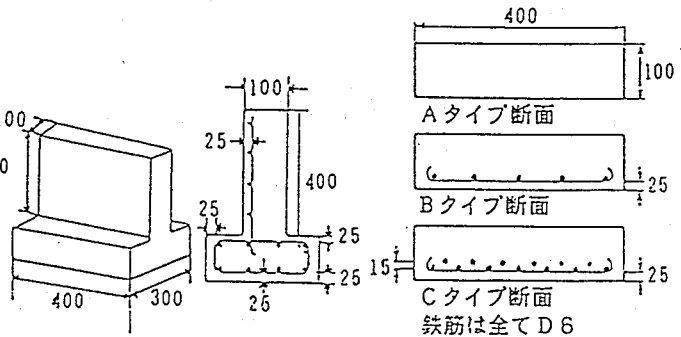


図-1 供試体の形状

2.2 静的载荷実験 供試体土台部を図-2に示すようなH型鋼を組み合わせた装置に固定し、固定端より300mmの位置に油圧ジャッキにより载荷した。測定については、ロードセルで荷重を、ダイヤルゲージで载荷点の上変位、下変位をそれぞれ測定した。ひずみについては固定端より50mmの位置にひずみゲージを貼付して測定した。

表-1 モルタルの諸元

水セメント比 (%)	55
水 (kg/m ³)	254
セメント (kg/m ³)	461
砂 (kg/m ³)	1310
圧縮強度 (kgf/cm ²)	306

2.3 衝撃载荷実験 図-3に示すように供試体土台部をコンクリート製ブロックとH型鋼等を使い固定し、固定端より300mmの位置に重錘 (W=80kg) をガイドを通して自由落下させる衝撃载荷実験を行った。測定については、重錘上部に取り付けたロードセルにより荷重を測定し、光学式変位計で供試体下部の変位をそれぞれ計測した。ひずみについては静的実験と同様に固定端より50mmの位置にひずみゲージを貼付した。各タイプの载荷速度ケースは、AタイプについてはV=1, 2, 3, 5 m/s、B, CタイプについてはV=

表-2 鉄筋量

		Bタイプ	Cタイプ
はり部	主筋 (mm)	0.55×5 =2.75	0.55×13 =7.15
	配力筋 (mm)	0.35×5 =1.75	0.35×5 =1.75
土台部	主筋 (mm)	0.80×7 =5.60	0.80×7 =5.60
	配力筋 (mm)	0.35×6 =2.10	0.35×6 =2.10
合 計 (mm)		12.20 (3.0378)	16.60 (4.1334)

鉄筋は全てD6 (0.249kg/m)

1, 3, 5, 7 m/sの速度を与えた。

3. 実験結果および考察

3.1 静的載荷実験

3.1.1 荷重～変位関係

静的載荷実験における荷重～変位関係を図-4に示す。無筋コンクリートはりに比べ鉄筋により補強したコンクリートはりは大きな耐力および変形性能を有し、最大荷重はAタイプ693kgfに対し、Bタイプ887kgf, Cタイプ1012kgfとAタイプのそれぞれ約1.3倍, 1.5倍となった。破壊に至る変位においてもAタイプは1.6mmで供試体固定端部にひび割れを生じた瞬間に切断された。一方、Bタイプは6.7mm, Cタイプは14.3mmとAタイプのそれぞれ約4倍, 約9.5倍の限界変位が確認され、Aタイプとは異なり供試体固定端部にひび割れを生じた後も鉄筋の効果によって切断されずにその形を維持した。

3.1.2 静的吸収エネルギー 次に図-4の荷重～変位曲線を積分して得られた静的吸収エネルギー～変位関係を図-5に示す。本実験においては荷重変位関係の最大荷重時までの変位積分を限界吸収エネルギーと定義した。これによるとAタイプの限界吸収エネルギー (0.52tf・mm) に比較し、Bタイプ (4.94tf・mm) は約9.5倍、Cタイプ (10.4tf・mm) は約20.0倍の静的吸収エネルギーが確認された。

3.2 衝撃載荷実験

3.2.1 荷重～変位関係 $V = 5 \text{ m/s}$ における荷重～変位関係を図-6に示す。これより供試体の補強の程度に従ってC, B, Aタイプの順に耐力および変形性能が大きいことがわかる。

3.2.2 衝撃吸収エネルギー～変位関係

次に、 $V = 5 \text{ m/s}$ における衝撃吸収エネルギー～変位関係を図-7に示す。これについても供試体の鉄筋の補強の程度に従い、C, B, Aタイプの順に変形性能が大きくまた破壊に至るまでに吸収される衝撃のエネルギー

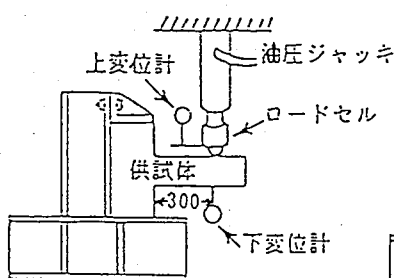


図-2 静的載荷実験装置

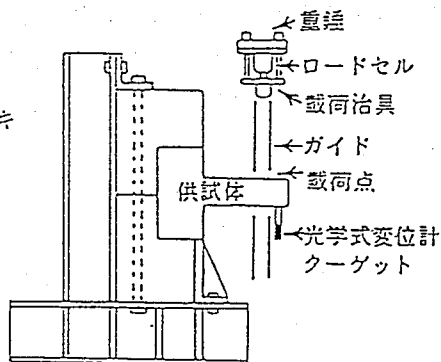


図-3 落錐式衝突実験装置

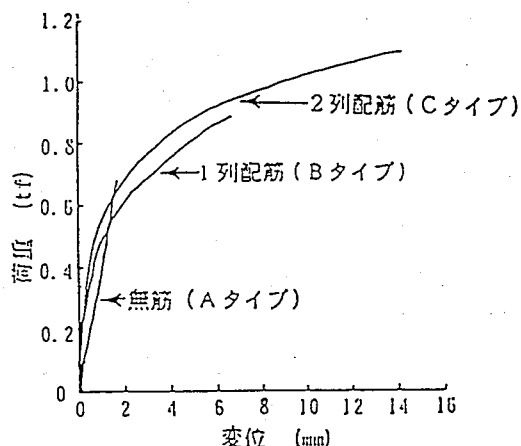


図-4 荷重～変位曲線 (静的載荷実験)

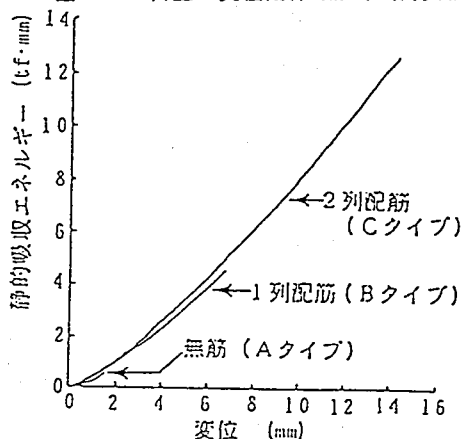


図-5 静的吸収エネルギー～変位関係

ギーも大きいことが認められた。

3.2.3 衝撃吸収エネルギー～速度関係 さらに衝撃吸収エネルギー～衝突速度関係を図-8に示す。これにより破壊に至る限界吸収エネルギーはAタイプ(2.0～2.5tf・mm)、Bタイプ(13～15tfmm)、Cタイプ(40～50tf・mm)の順となり、鉄筋の補強を行うことによりAタイプと比較し、Bタイプでは5～7倍程度、Cタイプでは約20倍程度の衝撃吸収エネルギーの上昇が認められた。

3.2.4 破壊形態 図-9は静的載荷実験および衝撃載荷実験の破壊形態を示したもので、AタイプとB、Cタイプとの間に大きな差異がみられた。さらに各タイプにおいても各載荷速度ごとに異なった破壊形態を示した。まず静的載荷実験では固定端部のひびわれによって破壊したのに対し、衝撃載荷実験では固定端部に加え載荷点を中心としためり込みやひび割れといった局所的な破壊が載荷速度の増加とともに顕著にみられた。すなわち載荷速度 $V=1\text{ m/s}$ では各タイプとも外観にひびわれは観察されなかったが、 $V=2\text{ m/s}$ でAタイプについては静的載荷実験と同様な固定端部での破壊を起こした。しかし、B、Cタイプについては外観にひびわれは観察されなかった。さらに $V=3\text{ m/s}$ でAタイプは②に示されるように固定端部の他に載荷点を中心とした割れを生じ周囲に砕け散ったのに対し、B、Cタイプでは④に示すように載荷点に横一文字のひびが入るにとどまった。載荷速度が増すと衝突直後の載荷点における加速度および慣性力が大きくなっており、固定端だけでなく自由端も拘束されたような動きとなり両端固定はりのようになるため、固定端だけでなく載荷点でも局所的に応力が発生し、ひびわれが生ずるものと考えられる。 $V=5\text{ m/s}$ ではAタイプは②と同様であったがB、Cタイプについては⑤に示されるように載荷点から四方にのびるひびわれの数が増大した。さらに載荷速度が増加し衝撃力が増大すると衝突点で発生した圧縮波が裏面の自由面で反射し引張波となり引張破壊を起こし、 $V=7\text{ m/s}$ における⑥のようにB、

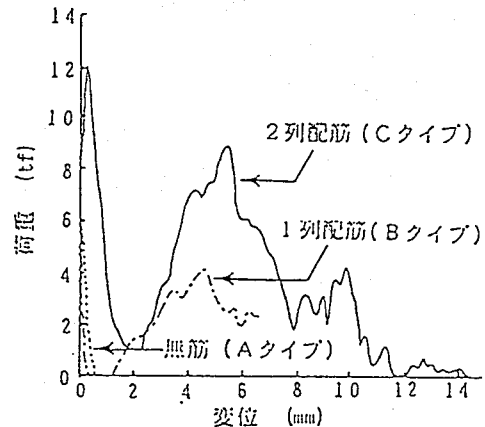


図-6 荷重～変位関係(衝撃載荷実験)
($W=80.0\text{ kgf}$ $V=5.0\text{ m/s}$)

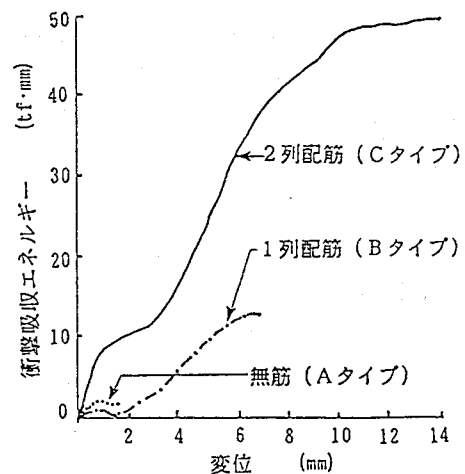


図-7 衝撃吸収エネルギー～変位関係
($W=80.0\text{ kgf}$ $V=5.0\text{ m/s}$)

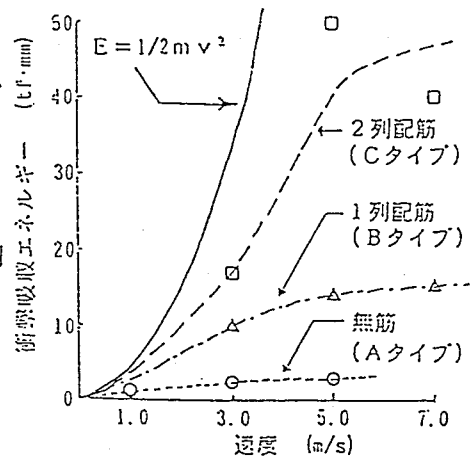


図-8 衝撃吸収エネルギー～衝突速度関係

Cタイプにおいては裏面剥離（スキヤピング）が生じた。またこのときBタイプは5本の主筋のうち3本が破断した。速度がさらに増加し重錘の先端形状が鋭利になるとはり部を貫通するものと思われる。本実験の破壊形態では $V = 7 \text{ m/s}$ においてBタイプの主筋が破断した以外B, C両タイプに大きな差異は見いだせなかつ Cタイプだが、Aタイプと比べて鉄筋による補強により衝撃で砕かれたコンクリート塊が飛び散ることを防止し供試体の形を維持する効果があることが認められた。以上の破壊状況を写真-1, 2, 3に示す。

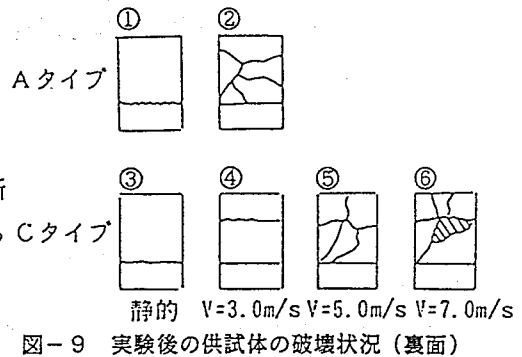


図-9 実験後の供試体の破壊状況（裏面）

4. 結論

(1) 静的および衝撃载荷実験の両方においてCタイプ（2列配筋）、Bタイプ（1列配筋）、Cタイプ（無筋）の順に耐力および変形性能が大きくまた吸収されるエネルギー量も大きい。特にCタイプはAタイプに比べ約20倍も吸収エネルギー量が大きいことが認められた。

(2) 静的载荷実験では固定端

部のみで曲げ破壊が生じたのに対し、衝撃载荷実験では衝撃点近傍を中心とした破壊が同時に生じる。すなわち、衝撃载荷実験において衝突速度が増加するに従い、B, Cタイプの破壊形態は载荷点を中心とした局所的なひびわれが増大し、裏面に剥離現象が見られることが確認された。

(3) またA, B, Cタイプの破壊状況にも大きな差異が見られ、同じ速度（ $V = 3 \text{ m/s}$ ）で载荷した場合Aタイプでは四方に砕け散ったのに対しBおよびCタイプでは横一文字にひびわれが入る程度だけであった。

(4) 鉄筋でコンクリートを補強することによってコンクリート塊の飛散を防止し構造物の形を維持して崩壊を防ぐことができる。

参考文献

- 1) 土木研究所資料 富士山土石流衝撃力実験報告書(1), 昭和55年3月
- 2) 下田義文, 鈴木真次, 石川信隆, 古川浩平: 個別要素法によるモルタル片持ちはりの衝撃応答解析, 構造工学論文集, Vol. 37A, pp1467~1476, 1992年3月

