

76 コンクリート面を防護するメタルライナーの取付構造の強度と変形性能

名古屋大学 ○伊藤 義人, 宇佐美 勉, 栗本鉄工所 草田 昭一

1. 序論

土石流や洪水時に生じる砂礫や巨石の衝突により、砂防ダム堤体の袖部、水叩き部、流路および通常のダムの排砂路などにおいてコンクリート面の浸食、破壊及び摩耗損傷などが大きな問題となっている。コンクリート表面を防護する方法として耐摩耗性の鋳鋼、鋳鉄製ライニング材（メタルライナー）の取付が最近試みられている。衝撃を受けるメタルライナーの取付構造物の強度や変形性能については、これまで明らかになっておらず、設計法も確立されていない。そこで、本研究ではメタルライナー取付構造物の耐荷力特性や変形能、破壊性状及びエネルギー吸収能などに関する基礎的なデータを得るために、静的載荷実験と衝撃載荷実験を行った。

2. 静的載荷実験

2.1 実験計画

静的載荷実験に用いたライナー形状は、図-1に示すように平板ライナー（Fタイプ）、十字リブ付きライナー（Rタイプ）および脚付きライナー（Lタイプ）の3タイプである。材質は、耐摩耗性に優れたクロム系鋳鋼とマンガン系鋳鋼の2種を用いている。その定着構造は、平板ライナーと十字リブ付きライナーは4本の鉄筋を用いたアンカーボルトで定着され、脚付きライナーはライナー下部の脚部で2本のアンカーボルトを使って定着している。3つのタイプのメタルライナーの上部の平板の大きさは、全て縦40cm、横40cm、厚さ5cmである。

実験では、独立した1つのメタルライナーの取付構造の強度と変形性能に着目するため、コンクリート躯体の上面に1つのメタルライナーを定着させた供試体を用いた。実験は、メタルライナー面に水平力のみが作用する場合

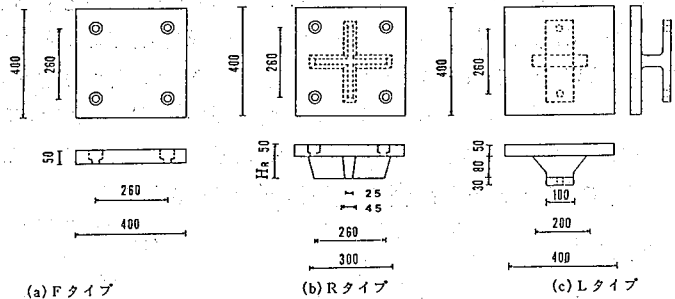


図-1 メタルライナーの形状

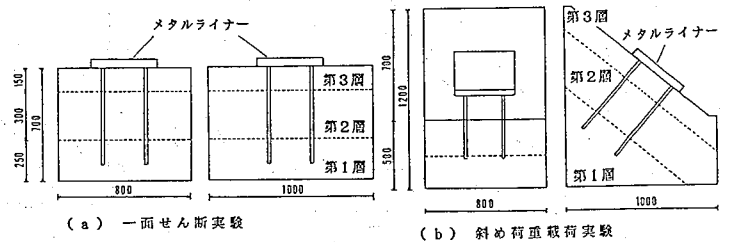


図-2 供試体形状

表-1 供試体一覧

供試体名	実験方法	ライナー形状 及び取付構造	アンカー ボルト	リブ高さ Ha (cm)	ライナー材質	割列補強筋
A-1	一面せん断	Fタイプ	D19	---	マンガン系	有
A-2		Rタイプ	D19	5.0	マンガン系	有
A-3		Lタイプ	D19	---	マンガン系	有
B-1	斜め荷重載荷	Fタイプ	D19	---	マンガン系	有
B-2 a		Rタイプ	D19	5.0	マンガン系	有
B-2 b		Rタイプ	D19	5.0	クロム系	有
B-3 a		Lタイプ	D19	---	マンガン系	有
B-3 b		Lタイプ	D19	---	クロム系	有
C-1		一面せん断	Rタイプ	D19	5.0	マンガン系
C-2	Rタイプ		D25	5.0	マンガン系	有
C-3	Rタイプ		D19	3.0	マンガン系	有
C-4	Rタイプ		D19	7.0	マンガン系	有

(一面せん断実験)と鉛直力と水平力が同時に作用する場合(斜め荷重載荷実験)の2通りを行うために図-2に示すような2種の形状の供試体を製作した。コンクリート躯体は三層構造になっており、第1層のコンクリート躯体に穴をあけ、長さ60cmのアンカーボルトを固定した後、第2層に普通コンクリートを打設し、アンカーボルトにメタルライナーをネジで固定した後、メタルライナーとコンクリートの隙間に高強度無収縮モルタルを充填するという実際の施工法通りに供試体は製作された。実験で用いた1.2体の供試体の一覧を表-1に示す。AシリーズとCシリーズが一面せん断実験用供試体であり、Bシリーズが斜め荷重載荷実験用供試体である。以下では主として一面せん断実験結果について報告する。

メタルライナーには、複数の岩石などの衝突によって繰り返し力がかかることを考えて、一方向繰り返し荷重載荷を行った。

2. 2 実験結果と考察

ライナー形状を変化させたときの耐荷力と変形性状

Aシリーズの3体は一面せん断実験用でFタイプ、Rタイプ、Lタイプのメタルライナー取付構造について比較するものであり、図-3にライナーの荷重-変位曲線の包絡線を示す。Fタイプのライナーを使い、4本のアンカーボルトだけで取り付けたA-1供試体の最大耐荷力は、他の2タイプに比べて約1/4と小さく、A-2供試体(Rタイプ)及びA-3供試体(Lタイプ)の十字リブや脚構造がせん断耐荷力に対して非常に有効であることが分かった。A-2供試体とA-3供試体とを比較すると、最大耐荷力や変形性能には大きな差はない。しかし、その破壊性状に注目すると、A-2供試体ではアンカーボルトと十字リブ前面のモルタルがともにせん断破壊をおこしたが、ライナー周辺のコンクリート躯体には損傷を与えていないのに対して、A-3供試体ではライナー周辺のコンクリート躯体に広範囲に渡ってクラックが発生しており、両者に大きな差が生じた。実際の構造は、複数のライナーによってコンクリート表面を覆うことを考えると、設計時の耐荷力の評価及び修復の容易さから十字リブ付きライナーの方が脚付きライナーより好ましい構造といえる。

十字リブ付きライナーの取付構造の比較

図-4にCシリーズの十字リブ付きライナーの一面せん断実験の荷重-水平変位曲線の包絡線を比較したものを示す。C-2は、アンカーボルト径を通常の19mmから25mmに太くしたものであり、C-3とC-4はリブ高さを3cmと7cmに変化させたものである。

図-5に十字リブ付きライナー(A-2, Cシリーズ)の一面せん断実験から得られた耐荷力と簡易計算から得られた耐荷力を比較している。耐荷力の簡易算定値はアンカーボルトのせん断抵抗力と十字リブ前面のモルタルのせん断抵抗力をたし合わせたものである。リブ前面のモルタルのせん断抵抗力は、実験で得られたせん断面積にせん断強度をかけあわせたものを用いている。実験から得られた耐荷力と簡易算定耐荷力とは、ほぼ、よい一致をみている。また、リブ前面のモルタルのせん断抵

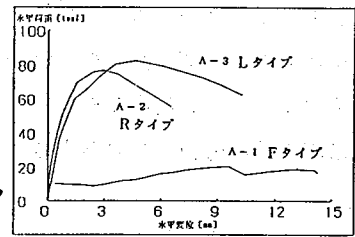


図-3 Aシリーズ荷重-変位曲線の包絡線

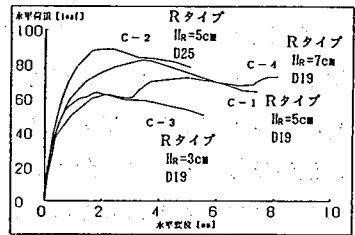


図-4 Cシリーズの荷重-変位曲線の包絡線

抗力とアンカーボルトのせん断抵抗力の分担はアンカーボルト径の大きさや十字リブの高さに影響を受け、破壊性状や耐荷力などを考慮すると、リブ前面のモルタルとアンカボルトのせん断抵抗力がほぼ等分に分担しているときがもっとも性能がよいことが分かった。

静的エネルギー吸収能

図-6に同じく十字リブ付きライナーの一面せん断実験から得られた最高荷重までの静的吸収エネルギーを比較したものを示す。十字リブの高さが7cmのC-4供試体の吸収エネルギーが最も大きな結果となっているが、最高荷重を過ぎてすぐに不安定な変形となり、かつ十字リブ先端からクラックが発生し、周辺コンクリートに損傷を与えるため、全体として耐荷力および変形能に優れているのはリブ高さ5cmのものであることが分かった。

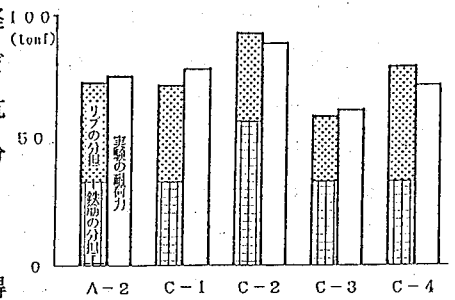


図-5 耐荷力

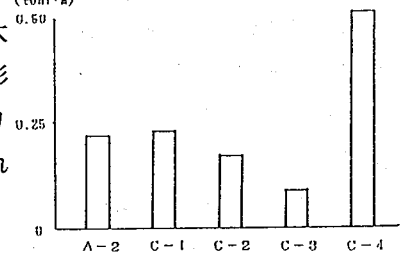


図-6 エネルギー吸収量

3. 衝撃载荷実験

3.1 実験計画

表-2 衝撃供試体一覧

静的载荷実験の結果を受け、衝撃载荷実験は十字リブ付きライナーの取付構造の衝撃荷

供試体名	実験方法	ライナー材質
DA-1	一面せん断	マンガン系
DA-2	衝撃载荷実験	マンガン系
DB-1	斜め方向	マンガン系
DB-2	衝撃载荷実験	クロム系

重に対する強度、変形特性およびエネルギー吸収特性を明らかにするために表-2に示す4体の実験を行った。供試体は、基本的には静的実験に用いたのと同じ形状のものを用い、2体の1面せん断繰り返し衝撃载荷用供試体と2体の斜め方向繰り返し衝撃载荷用の供試体を製作した。衝撃荷重は、図-7に示すような108kgfの重錘を20cmの高さから10cm間隔で最高500cmまで高さを変えて、ガイドパイプの中を落下させ作用させた。図-8に示すように、一面せん断荷重をライナーに作用させるためにT形の治具をライナー端に取り付けた。重錘は鋼鉄製とコンクリート製の2種を使い、重錘の材料による差を確認した。測定項目は、重錘の加速度、ライナーの変位とアンカーボルトと十字リブのひずみである。変位は、非接触型のレーザー変位計(AN69116, 松下電工製)を用いて測定した。

3.2 実験結果と考察

図-9に、DA-1供試体に1.5mの高さから鉄重錘を落下させたときの加速度、ライナー面水平変位、アンカーボルト及び

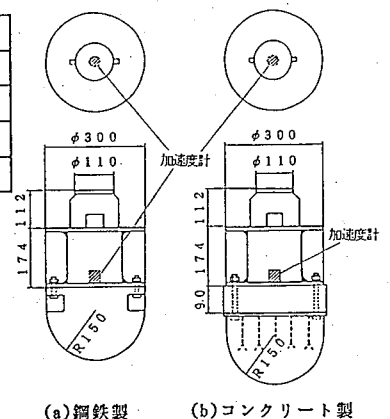


図-7 重錘

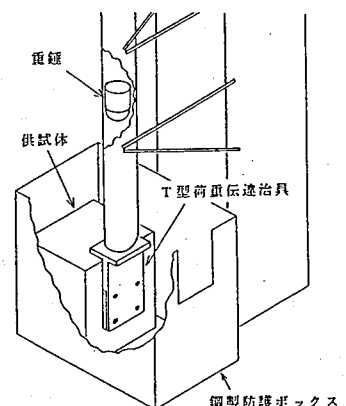
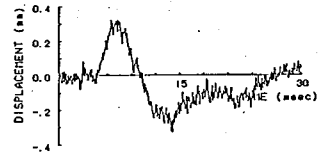
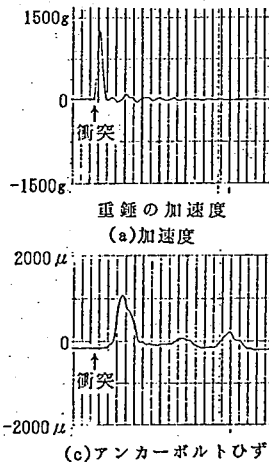
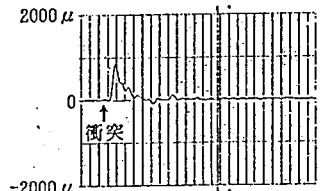


図-8 衝撃载荷実験装置

リップのひずみの応答波形を示す。加速度の応答継続時間は約1 msecで、これは落下高さによらずほぼ一定であった。重錘の加速度から求めたピーク衝撃力と重錘の落下高さの関係を図-10に示す。コンクリート重錘は、50 cmの高さの所でクラックが入り割れたため、それ以後は使用していない。△で示したコンクリート重錘の衝撃力は鉄重錘の約1/2程度しか発生していない。鉄重錘の衝撃力は



(b)変位



(d)リップひずみ

(c)アンカーボルトひずみ

落下高さが高くなるに従って大きくなっているが、その増加の割合は小さくなっている。図-11にDA-1とDA-2のライナーの面水平方向と垂直方向の変位のピーク値と落下高さの関係を示す。ライナー面水平方向変位は、DA-1の供試体では落下高さ2 m程度からわずかに発生し始め、3 mくらいから急激に大きくなり、4.4 mでライナーはアンカーボルトとリップ前面のモルタルのせん断破壊によって、ライナーの衝撃载荷端が持ち上がるような崩壊形状となった。この崩壊形式は、静的载荷実験の場合とほぼ同じである。静的载荷の場合と異なるのは、ライナー周辺のコンクリートに放射状のクラックが発生したことである。

図-9 応答波形

静的エネルギー吸収能と衝撃エネルギー吸収能との関係についても検討を行っており、当日発表の予定である。

4. 結論

本実験で得られた主な結論は以下のようである。

- 1) 5 cmのリップ高さを持つ十字リップ付きライナーの性能が、強度、変形能、エネルギー吸収能の観点から最もバランスがとれて優れている。
- 2) 十字リップ付きライナーの定着構造の崩壊モードは、衝撃荷重と静的荷重において大きな差はなく、衝撃荷重によっても局所的な破壊で強度などが支配されることはない。
- 3) ライナーの定着構造の衝撃に対する強度は、静的な荷重に対する強度より大きいが、巨礫の衝突などによる衝撃ピーク荷重は非常に大きなものとなり、この衝撃荷重を静的に作用させて設計することは困難であり、エネルギー吸収論的なアプローチが必要である。

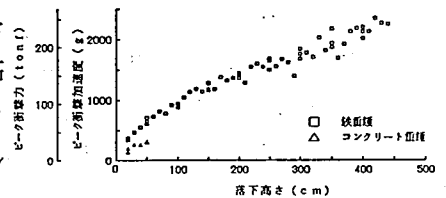


図-10 落下高さ と ピーク 衝撃力

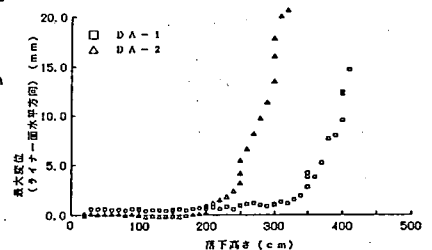


図-11 (a) 落下高さ - 水平変位関係

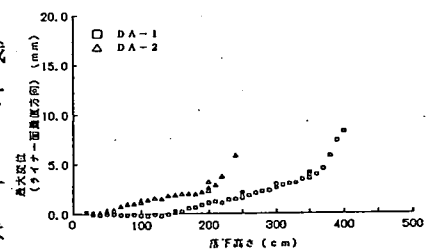


図-11 (b) 落下高さ - 垂直変位関係