

# コンクリート面を防護するメタルライナーの衝撃実験と設計法

名古屋大学 ○伊藤義人, 宇佐美勉, 川口雅樹 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。一昨年度に、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、静的載荷実験と第1回目の衝撃載荷実験について報告した。今回は、その後行った2シリーズの衝撃載荷実験の概要と非線形衝撃解析プログラムDYNA3Dを使った解析結果及び両者を比較検討することによって提案するメタルライナーの取付構造の設計法について報告する。

## 2. 衝撃載荷実験

### 2.1 実験計画

前回報告した2体（DA-1, DA-2）の衝撃載荷実験の続きとして、2シリーズの衝撃載荷実験を行った。

シリーズ1：実験は、一つのメタルライナーの取付構造について、ライナー面平行方向力のみが作用する一面せん断衝撃載荷実験3体、平行方向力と垂直圧縮力が作用する斜め方向衝撃載荷実験3体の合わせて6体の供試体（DA-3～DA-5, DB-3, DB-4, DC-1）について行った。なお、DC-1は、コンクリート躯体のみの供試体であり、直接コンクリート面に重錘を衝突させメタルライナー付の供試体と比較するものである。供試体の概要を図-1および表-1に示す。また、使用したメタルライナーの形状を図-2

表-1 供試体及び載荷方法一覧（シリーズ1）

供試体	実験方法	ライナー形状	使用した重錘	載荷方法
DA-3	一面せん断 荷重載荷	Rタイプ	コンクリート 131.5kgf 鋼鉄 131.5kgf	コンクリート球 10cm ずつ上昇
DA-4		Rタイプ	コンクリート 226.5kgf 鋼鉄 226.5kgf	
DA-5		Rタイプ	コンクリート 131.5kgf 鋼鉄 131.5kgf	鋼鉄球 3m 繰り返し
DB-3	斜め方向 荷重載荷	Rタイプ	コンクリート 226.5kgf 鋼鉄 226.5kgf	コンクリート球 10cm ずつ上昇
DB-4		Fタイプ	コンクリート 226.5kgf 鋼鉄 226.5kgf	
DC-1		—	コンクリート 131.5kgf	鋼鉄球 10cm ずつ上昇 50cm ごとに3回繰り返し
			コンクリート 226.5kgf 鋼鉄 131.5kgf	

に示す。Rタイプのライナーには十字型のリブがついており、それぞれ4本のアンカーボルト（D19）でコンクリート躯体に取り付けられている。コンクリート部第3層には無収縮モルタルが用いてあり、アンカーボルトの埋め込み深さは、引き抜き破壊が起こらない十分な長さ（600mm）をとっている。

実験は、重錘の落下衝突によって供試体に衝撃荷重を作用させる方法で行った（図-3）。与える荷重履歴の違いによって、取付構造の各種特性にどのような違いが現れるのかを比較するために、一面せん断実験では2種類の重量の重錘を用いて、3mの一定高さからの繰り返し落下による載荷方法をとった。これは、一昨年度と載荷パターンを変えて、荷重履歴の影響をみるためである。

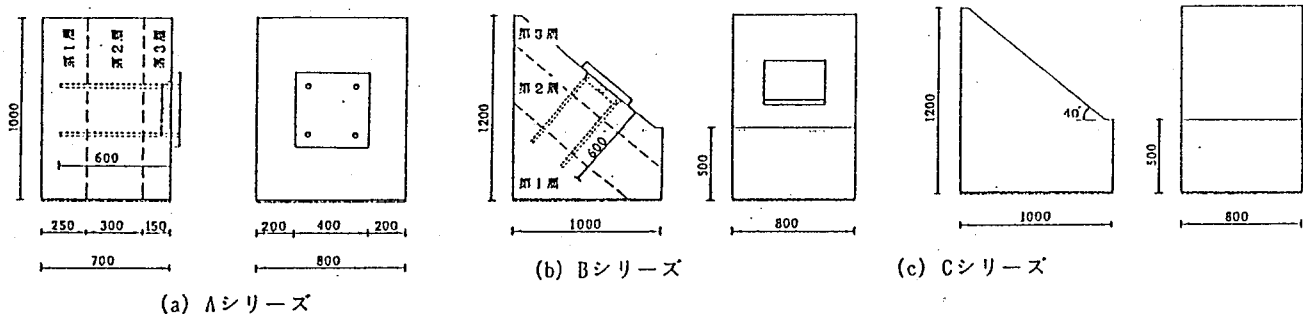


図-1 実験供試体 (シリーズ1)

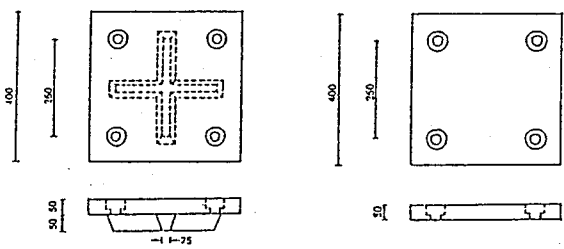


図-2 メタルライナー形状

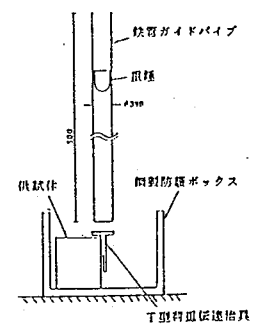


図-3 衝撃载荷方法

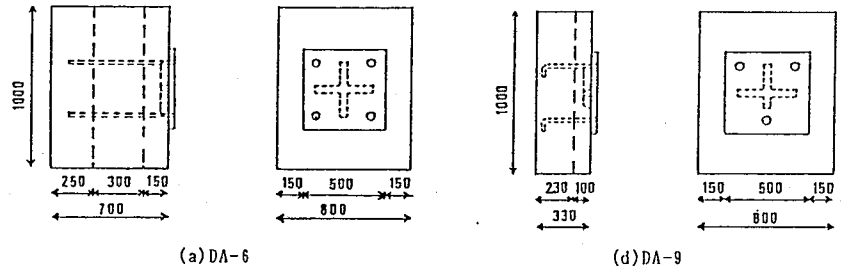


図-4 実験供試体 (シリーズ2)

測定項目は、重錘の加速度、メタルライナーのライナー面平行方向の変位2点およびライナー面垂直方向変位1点、アンカーボルトのひずみ12点およびリブのひずみ2点である。

シリーズ2：このシリーズの衝撃荷重試験では、ライナーの大きさと厚さを変え、アンカーボルト本数と付着長を変化させた一

表-2 供試体一覧 (シリーズ2)

面せん断試験を5体行った (DA-6～DA-9)。これは、施工性、経済性の向上や設計法の一般化をねらったものである。表-2 および図-4

供試体	ライナー寸法 (cm)	アンカーボルト径	本数	付着長 (cm)	備考
DA-6	50 (リブ付)	D22	4	60	ひずみ測定点30, 40cm追加
DA-7	50 (リブ無)	D22	4	32.4	ひずみ測定点30cm追加
DA-8	50 (リブ無)	D25	3	37.1	同上
DA-9	50 (リブ付)	D22	3	30	アンカーボルト端部し型
DA-10	40 (リブ付)	D19	4	60	リブ前面に発泡スチロール

に本年度の供試体概要を示す。コンクリート躯体は、DA-9が2層、他は3層構造であり、第3層には無収縮モルタルが用いてある。衝撃荷重は、重錘の落下高さを10cmづつ順次上げて供試体に繰り返し衝撃荷重を作用させた<sup>1)</sup>。測定項目は、シリーズ1と同じであるが、ひずみはシリーズ1での14点に加えてさらに表-2の備考に示すに位置のひずみも測定した。

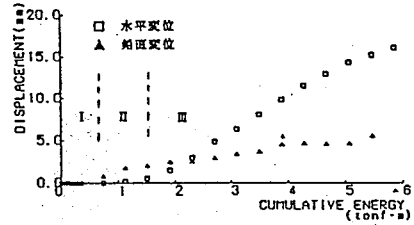
3. 実験結果と考察

一面せん断載荷実験から得られた、ライナーの変位及びアンカーボルトのひずみの関係の例を図-5に示す。これらの図より崩壊までの挙動をまとめると、シリーズ1, シリーズ2ともに、以下のようになった。

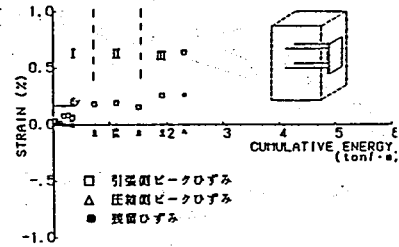
領域Ⅰ：ひずみは衝撃荷重に応じてほぼ弾性域内の値をとり、ライナー変位はほとんど変化がみられない。

領域Ⅱ：ライナー面垂直方向変位が生じ始める。

領域Ⅲ：ひずみの値は降伏ひずみを大きく超えて急激に増加する。ライナー面平行方向変位が生じ始める。



(a) DA-3 塑性変位



(c) DA-3 アンカーボルトひずみ

図-5 変位及びひずみと累積外力エネルギー関係

ライナー面垂直方向に塑性変位を生じ始める状態を取付構造の弾性限界とし、そのときに与えたエネルギー量を弾性限界エネルギーと定義する。これを重錘が衝突前に持っている位置エネルギーから減じた分を、取付構造に吸収されるエネルギーと考える。累積吸収エネルギーとライナー面水平方向変位との関係を見ると、図-6に示すように変位の立ち上がり点やその後の傾きはアンカーボルト3本のものを除きおおむね一致した。このことから、累積吸収エネルギーと塑性変位の関係を、次のように定式化できる。

$$E = \alpha \delta + \beta \quad (1)$$

ここに、Eは累積吸収エネルギー、 $\alpha$ 及び $\beta$ は実験から求められる定数、 $\delta$ は変位を表す。

#### 4. 非線形衝撃解析による衝撃力の評価

衝撃問題を扱う際には物体の衝突時における衝撃力が重要であるが、その衝撃力の算定には以前からよくHERTZの理論が用いられる。文献3)では、この理論値に実験により得られた係数を乗じることで衝撃力を算定している。ここでは、メタルライナーと重錘が斜めに衝突する際に発生する衝撃力についての数値シミュレーションを非線形動的応答解析プロ

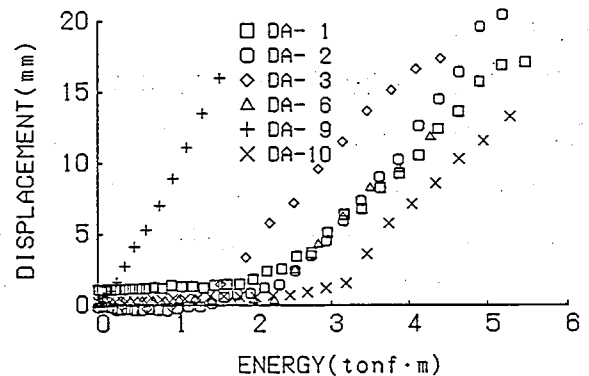


図-6 累積エネルギーと塑性変位関係

グラムDYNA3Dを用いて行い、実験結果およびHERTZ解に係数を乗じて算定される衝撃力と比較してみた。解析には、図中に示したように対称性を利用し1/2をモデル化した。また昨年度の実験より、衝撃力は供試体の損傷によらないことがわかっているので、ライナーとコンクリート躯体は剛結とした。図-7に実験結果、HERTZ解および数値解析結果を合わせて示す。HERTZ解に乗じている係数は、各落下高さの実験値をHERTZ解で除したものの平均とした。解析は実現象をよくシミュレートしており、ピーク加速度は実験結果とほとんど一致した。

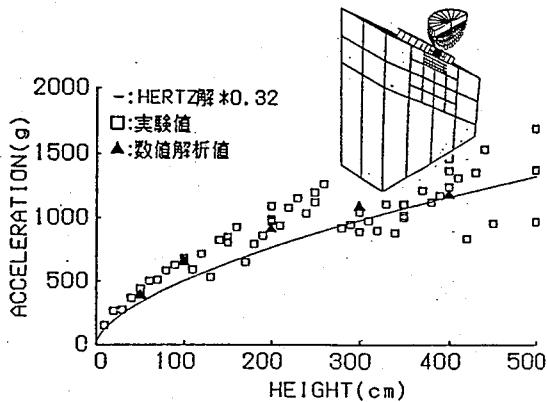


図-7 数値解析結果

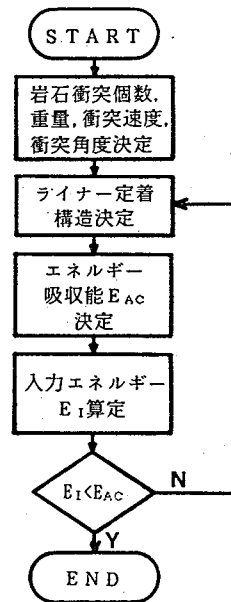


図-8 設計フローチャート

## 5. 設計法

3. と 4. の考察をもとに、取付構造の吸収エネルギーと塑性変位の関係を用いたメタルライナーの取付構造の設計は図-8 に示すフローチャートの方法によって可能となる。設計に用いる衝撃吸収エネルギー  $E_A$  と塑性変位  $\delta_H$  の関係の基準のモデル図を図-9 に示す。

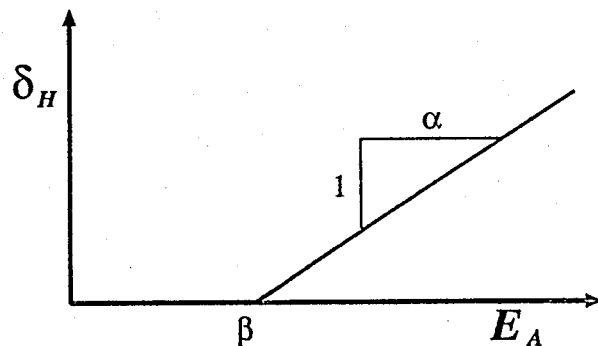


図-9 衝撃吸収エネルギーの基準図

## 6. 結論

種々の衝撃载荷実験によりメタルライナー定着システムの耐衝撃力特性を明らかにした。また、数値解析により重錘が斜めからライナーに衝突する時の衝撃力を算定し、実験結果と比較してよい一致を得た。解析結果と実験結果を比較することにより、メタルライナーの定着構造のモデル化を行い、一面せん断試験の結果から得られた弾性限界エネルギーを用いてエネルギー吸収能に着目した設計手法を提案した。

## 参考文献

- 1) 伊藤義人, 宇佐美勉, 草田昭一: 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能, 砂防学会平成4年度研究発表会, 280-283.
- 2) 伊藤義人, 倉坪和弥, 宇佐美勉, 片岡 誠, 草田昭一: メタルライナー取付構造物の耐荷力と変形能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 38A, 1991. 3, pp. 1529-1542.
- 3) 伊藤義人, 八谷 徹, 宇佐美勉, 片岡 誠, 草田昭一: 衝撃荷重を受けるメタルライナー取付構造物の耐荷力と変形能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 39A, 1993. 3, pp. 1539-1552.