

## コンクリート面を防護する種々のメタルライナーの衝撃実験

AN EXPERIMENTAL STUDY ON VARIOUS METAL LINERS COVERING  
CONCRETE SURFACE UNDER IMPACT LOADING

伊藤義人\*, 増田進一\*\*, 笹田俊治\*\*\*, 八木伸人\*\*\*\*

Yoshito ITOH, Shin-ichi MASUDA, Toshiharu SASADA and Nobuto YAGI

\*工博 名古屋大学助教授 工学部土木工学科 (〒464-01 名古屋市千種区不老町)

\*\*工修 名古屋大学大学院生 (現名古屋市建設局) 工学部土木工学科 (〒464-01 名古屋市千種区不老町)

\*\*\*名古屋大学大学院生 工学部土木工学科 (〒464-01 名古屋市千種区不老町)

\*\*\*\*栗本鐵工所部長 鋳物事業部技術開発グループ (〒559 大阪市住之江区泉2-1-64)

In this paper, various types of metal liner protecting the concrete surface of sleeve part and water-course floor of Sabo dams are studied from the point of view of impact behavior and energy absorption. Five specimens having different dimensions are tested in order to establish more economic and better anchor system of metal liners. The test results are compared with the previous test results. The required length of anchor bolts of metal liner is proposed from the test results under impact loading.

Key Words : impact behavior, metal liner, anchor system

## 1. まえがき

土石流<sup>1), 2)</sup>による災害対策の一環として, 砂防ダムが設けられている。これには, 従来からの土石やコンクリートを材料とした重力式構造に加え, 昭和40年代に入り鋼材を主体としたスリット型のダムも使用されている<sup>3)</sup>。これらのダムでは, 土石流による衝撃, 特にその中に含まれる粒径の大きな岩石や流木などの衝突により, ダムの袖部, 水路床, 排砂路および水叩き部などが摩耗損傷を受け, 破壊に至ることが多く報告されている<sup>1), 4)</sup>。そのため, 表面に石材やゴム, 鋼材などを敷き詰めることでコンクリート部を保護することが試行されている<sup>5)</sup>。

最近, 鋳鉄製のライニング材 (メタルライナー) でコンクリート面を覆うことによりコンクリート部の損傷を防止する方法が考案された。メタルライナーは耐摩耗性に優れ, 単体の大きさを抑えることにより重機の入り込めないような現場でも容易に施工, 修復ができるといった利点があり, 一部で試験的に採用されている。

メタルライナー定着構造の耐衝撃特性に関する基礎的データを得るため, 名古屋大学ではこれまで数年間に渡り, 静的荷重載荷実験および衝撃荷重載荷実験を行ってきた<sup>13), 14)</sup>。

静的実験では, 3種類の形状のメタルライナーおよびD19, D25の2種類のアンカーボルトを用いて最適な定着構造を検討した。その結果, 次のようなことが判明した<sup>12)</sup>。

1) 高さ5cmの十字リブの付いたライナーは, 他のものに

比べ強度およびエネルギー吸収能力に優れている。

2) 十字リブ付ライナーを用いた定着構造において, アンカーボルトとリブの荷重分担率がそれぞれ約50%となるような構造のものは耐荷力, 変形性能に優れている。

また, 静的実験に引き続いて行われた2シリーズの衝撃実験より, 次のような結果が得られた<sup>13), 14)</sup>。

1) コンクリート重錘による衝撃加速度 (衝撃力) において, そのピーク値は鋼製重錘の約1/2となったが, 衝撃継続時間は約2倍となり, 1回の衝突により失うエネルギーはどちらの重錘でも同程度となった。

2) メタルライナーに発生する衝撃荷重は, 慣性の影響が大きく, 定着構造の損傷とほとんど無関係である。また, HERTZの接触理論を弾性球の衝突に適用して得られる衝撃力に係数を乗じることによって算定することが可能である。

3) 一面せん断実験において, 衝撃加速度, 変位, ひずみおよび破壊性状は, 荷重載荷履歴にほとんど依存せず同一の傾向となる。

4) 緩衝材を介さない衝突により発生する衝撃力は非常に大きいため, 衝撃外力での設計は困難であり, エネルギー論的アプローチが必要である。

5) 一面せん断実験において, 弾性限界吸収エネルギーを定義することにより, ほぼ荷重履歴によらない累積吸収エネルギーと塑性変位関係を得た。

以上のように、伊藤らはこれまで数年にわたり衝撃荷重下でのメタルライナー定着構造について研究が行い、メタルライナーの定着構造が衝撃力を受けたときの挙動や変形能、破壊性状などが明らかにし、簡易モデルを用いた設計法も提案した<sup>12)~14)</sup>。しかしながら、これはメタルライナーの大きさやアンカーボルトの付着長が決まっている場合のものであり、その施工性や経済性などはまだ十分考慮されているとはいえず、種々のメタルライナーの定着部を設計するためには多くの問題点が残されていた。

そこで、本研究ではより設計の一般性を高めるため、メタルライナーの大きさと厚さを変えたものについて昨年に引き続き重錘落下衝撃試験を行い、アンカーボルトの付着長、アンカーボルト本数の違いによる強度の差、およびリブの根本にモルタルが十分まわらないような施工不良による影響を明らかにする。

## 2. 衝撃荷重載荷実験

### 2.1 供試体

実験は、5体の一面せん断実験供試体を作製した。図-1に各供試体を使用したメタルライナーの形状を、図-2に各供試体の形状を示す。また、供試体一覧を表-1に示す。各供試体の実験目的の概要を表-2に示す。なお、供試体名はこれまで行われた一面せん断実験DA-1~DA-5に続くDA-6~DA-10という名前を付けている。

DA-6：従来型のメタルライナーの大きさは、図-1(e)に示すように、40cm×40cmで厚さが50mmであったが、経済性と施工性を考慮して、50cm×50cmと大きくし、その代わりに厚さを鋳物の製作限界の35mmとしたのがDA-6供試体である。コンクリート面を覆う面積は、従来型の1.56倍となる。これまでに行われた実験結果より、

十字リブ前面のモルタルとアンカーボルトとの荷重分担率が50%ずつのものが、耐荷力、変形性能及びエネルギー吸収能の点で最も優れた構造であるとの考えに基づいて、十字リブ形状とアンカーボルト径(D22)を決めた。なお、一本当たりのアンカーボルトのせん断耐力Qは次式で算定した<sup>20)</sup>。

$$Q = \frac{\sigma_u A_{BOL}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_u$ はアンカーボルトの引張強度であり、 $A_{BOL}$ はアンカーボルトの公称断面積である。

DA-7：アンカーボルトの付着長は、施工性と経済性に大きな影響を与える。すなわち、付着長を長くすると、メタルライナー設置のときに、深くコンクリートをはつる必要があり、できるだけ付着長を短くできるとよい。DA-7では、引き抜けが生じやすい平板ライナーを使い、アンカーボルトの付着長を32.4cmとしている。この付着長 $l_{bo}$ は、単位面積当たりの付着応力を文献<sup>18)</sup>より、70kgf/cm<sup>2</sup>と考え、アンカーボルト一本にかかる付着力がアンカーボルトの引張強度 $\sigma_u$ に等しいと考えて、以下の式から求めたものである。

$$l_{bo} = \frac{\sigma_u A_{BOL}}{70\pi D} \quad (2)$$

ここで、Dはアンカーボルト径である。

DA-8：アンカーボルト本数を減らすことにより、施工をやりやすくし、経済性を追求することができる。メタルライナーに作用する衝撃力の方向性を考慮して、図-2(c)のように3本のアンカーボルトを使用するものである。なお、アンカーボルト径は、D25と太くしている。アンカーボルトの長さは、DA-7と同じように式(2)から求めた。

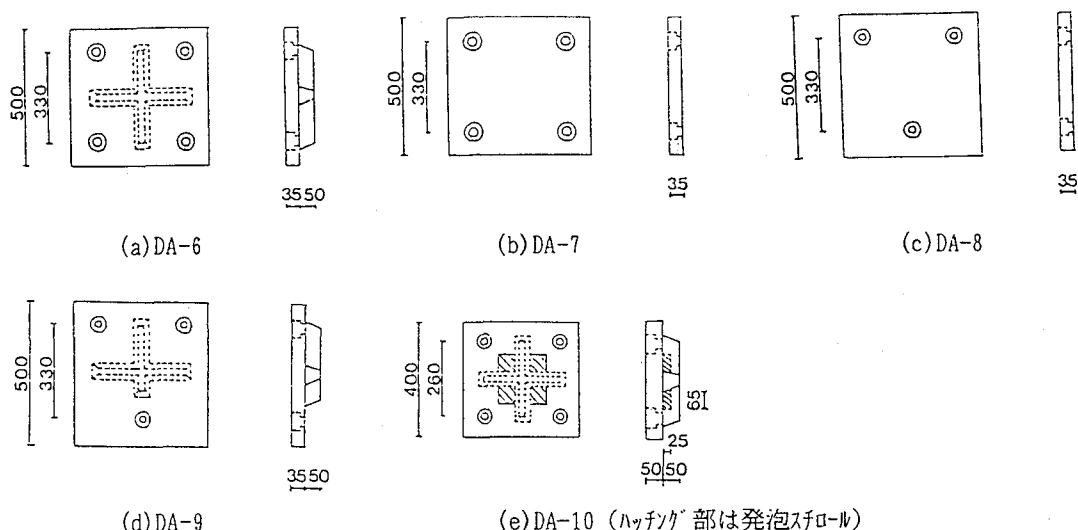


図-1 メタルライナー形状

表-1 衝撃载荷実験供試体一覧

| 供試体   | ライナー寸法<br>(cm) | アンカー<br>ボルト径 | 本数 | 付着長<br>(cm) | ひずみ<br>測定点数 | 備 考          |
|-------|----------------|--------------|----|-------------|-------------|--------------|
| DA-6  | 50(リブ付)        | D22          | 4  | 60          | 5           |              |
| DA-7  | 50(リブ無)        | D22          | 4  | 32.4        | 4           |              |
| DA-8  | 50(リブ無)        | D25          | 3  | 37.1        | 4           |              |
| DA-9  | 50(リブ付)        | D22          | 3  | 30          | 3           | アンカーボルト端部L型  |
| DA-10 | 40(リブ付)        | D19          | 4  | 60          | 5           | リブ前面に発砲スチロール |

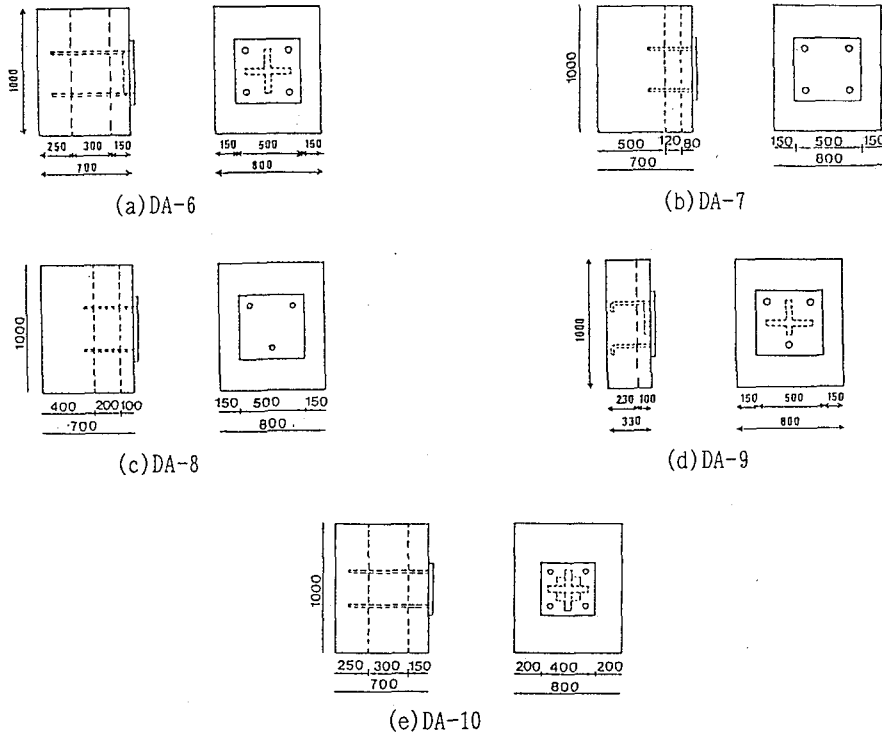


図-2 衝撃载荷実験供試体

表-2 各供試体の実験目的

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| DA-6  | ライナーの大型化に伴う挙動を従来型と比較する      |
| DA-7  | アンカーボルト付着長の短縮に伴う耐荷力特性をみる    |
| DA-8  | アンカーボルト本数を減らしたときの挙動, 変形能をみる |
| DA-9  | 付着長短縮(ボルト端部L型)に伴う耐荷力特性をみる   |
| DA-10 | 施工不良が発生したときの耐荷力特性をみる        |

DA-9: 施工性を良くするためにアンカーボルトの端部を曲げ, 図-2 (d)のようにL型としたものである。DA-8と同様に3本のアンカーボルトを使用している。

DA-10: この供試体は, 従来型形状のメタルライナーを使い, 十字リブの根本にモルタルが回らないような施工不良の影響を調べるためのものである。図-2.1(e)に示すように, リブ前面の根元に発砲スチロールを挿入して施工不良を再現している。なお, 施工不良の程度は通常の現場で考えられる最悪に近いものを考えた。

## 2. 2 実験方法および測定項目

衝撃荷重の载荷は, これまでと同様にガイド用パイプを通して重錘を自由落下させる方法を採用した。実験装置の概要を図-3に示す。重錘は, 図-4に示す2種類のものを用いた。重錘重量は, それぞれ150kgfと249kgfである。なお, 文献(13), (14)により重錘の材質による衝撃力の違いは, ほぼ明らかになっているので, 今回はコンクリート重錘は使用せず, 鋼製重錘のみ用いた。

実験は, 鋼製重錘の落下高さを10cmから10cm刻みで高くしていき, 繰り返し落下させた。また, 落下高さが50

cm間隔のところでは、再現性をみるため3回ずつ落下させた。最大落下高さは5mである。ライナーにはT型の荷重伝達治具をつけることで、一面せん断載荷となるようにした。

表-3 アンカーボルト引張試験結果

| ボルト<br>径 | 弾性係数<br>E<br>( $\times 10^6$ kgf/cm <sup>2</sup> ) | 初期ひずみ<br>硬化係数 $E_{st}$<br>( $\times 10^4$ kgf/cm <sup>2</sup> ) | 降伏応力<br>$\sigma_y$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 降伏ひずみ<br>$\epsilon_y$<br>(%) | 硬化開始ひずみ<br>$\epsilon_{st}$<br>(%) |
|----------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| D19      | 1.90                                               | 3.63                                                            | 3500                                         | 0.185                        | 1.90                              |
| D22      | 1.77                                               | 3.32                                                            | 3730                                         | 0.211                        | 0.927                             |
| D25      | 2.28                                               | 3.26                                                            | 3690                                         | 0.162                        | 1.30                              |

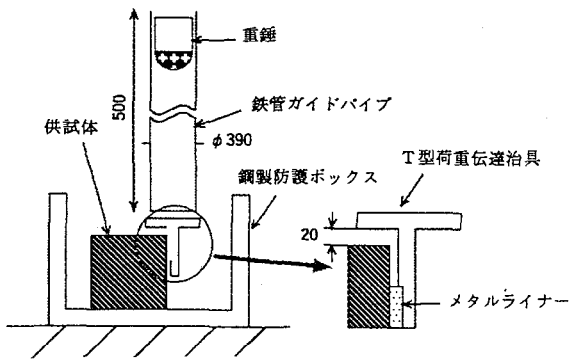


図-3 実験装置概要

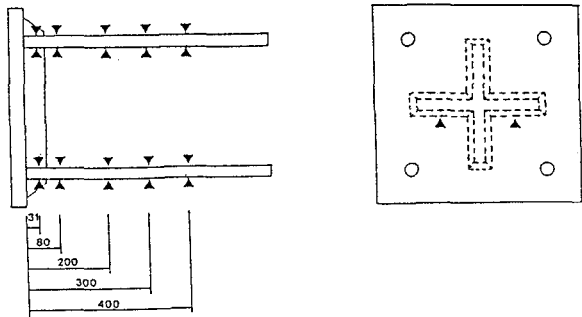


図-5 ひずみゲージ貼付位置

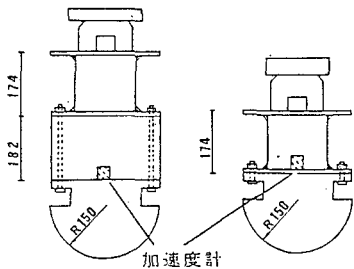


図-4 重錘

測定項目は、重錘加速度、ライナー面水平方向変位2点および鉛直方向変位1点、アンカーボルトおよびリブのひずみである。ひずみ測定を除き、文献13), 14)と同じであるので詳しい記述は省略する。

ひずみは、アンカーボルトのひずみ分布をみるため測定点を文献13), 14)の実験より追加した。測定点は各供試体で異なり、DA-6, DA-10がアンカーボルトに20点とリブに2点の計22点、DA-7, DA-8がアンカーボルトに16点、そしてDA-9がアンカーボルトに12点とリブに2点の計14点である。アンカーボルトには、軸ひずみと曲げひずみを分離するため、ひずみゲージをその両側に2枚1組として図

### 2. 3 材料試験

材料試験は、200tonf万能試験機を用いて行った。アンカーボルトの引張試験は、D19, D22, D25の異形鉄筋試験体各3体について行い、その結果から弾性係数、降伏応力、降伏ひずみ、初期ひずみ硬化係数、硬化開始ひずみを求めた。

コンクリートおよびモルタルの材料試験では、それぞれの層について3体の試験体 ( $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ ) を用意し、圧縮試験および引張試験 (割裂試験, JIS A1113) を行った。そして、その結果から圧縮強度と引張強度を求めた。

### 3. 実験結果

#### 3. 1 材料試験結果

衝撃荷重載荷実験の供試体のアンカーボルトに用いた異形鉄筋D19, D22, D25, コンクリート躯体に用いたモルタルについて行った材料試験の結果を表-3と表-4にそれぞれ示す。なお、供試体の第2層のコンクリートの圧縮強度および引張強度の平均値は、それぞれ438kgf/cm<sup>2</sup>と30.9kgf/cm<sup>2</sup>であった。

表－４　コンクリート材料試験結果（衝撃実験供試体）

| 供試体   | 圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| DA- 6 | 521                            | 20.3                           |
| DA- 7 | 483                            | 41.0                           |
| DA- 8 | 451                            | 26.0                           |
| DA- 9 | 453                            | 25.3                           |
| DA-10 | 561                            | 39.9                           |

3. 2 衝撃荷重実験結果

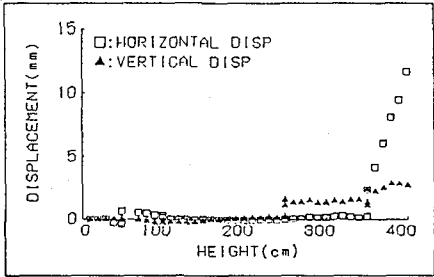
3. 2. 1 衝撃荷重

重錘が供試体に及ぼす衝撃荷重は、重錘がメタルライナーに衝突する際に発生する衝撃加速度と重錘重量の積

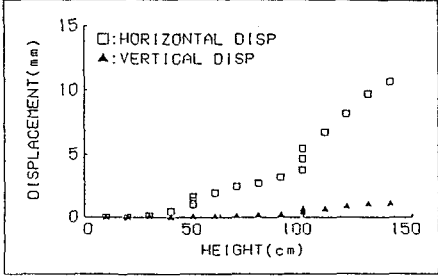
により求めることができる。衝撃加速度は、衝突速度が高速であるほど、すなわち落下高さが高くなるほど大きくなっており、その大きさは、落下高さおよび重錘重量が同じであればライナー定着構造によらずほぼ一定の値となった。これは昨年までの実験結果と同様な傾向であり、慣性の影響が大きいと考えられる。

3. 2. 2 応答変位および応答ひずみ

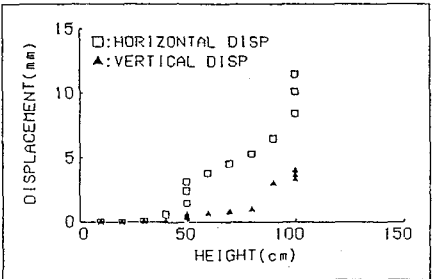
各供試体について、図－６に落下高さとメタルライナーのライナー面水平方向と垂直方向の塑性変位（残留変位）との関係を示す。また、図－７に落下高さとモルタル表面から深さ31mmの位置にあるアンカーボルトのひずみの値との関係を示す。



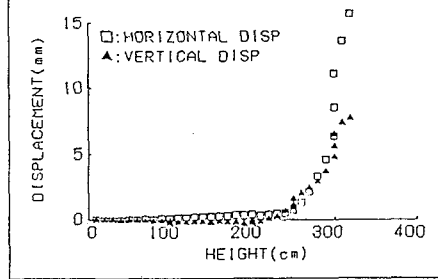
(a) DA-6



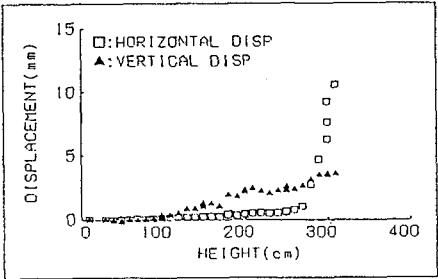
(b) DA-7



(c) DA-8



(d) DA-9



(e) DA-10

図－６　落下高さと塑性変位関係

リブの無い平板ライナーを用いているDA-7, DA-8では、  
 載荷直後からアンカーボルトに大きなひずみが生じてお  
 り、共に落下高さ50cmのあたりから降伏ひずみを超える  
 値を示した。また、水平変位も落下高さ50cm以後急激に  
 増加しており、ひずみとの対応がよくとれている。

一方、十字リブ付ライナーを用いた他の3体の供試体  
 (DA-6, DA-9, DA-10)では、崩壊までの挙動を次のような  
 3つの領域に分けることができる。

#### 1) 領域1

- ・ ひずみは落下高さに応じ弾性域内で線形的に増加。
- ・ 変位は水平、垂直方向いずれも変化無し。
- ・ ここでは衝撃荷重がアンカーボルトとリブ前面のモ  
 ルタルにより分担され、いずれも弾性域内での挙動  
 である。

#### 2) 領域2

- ・ ひずみの増加幅が小さくほぼ同程度のひずみ応答値

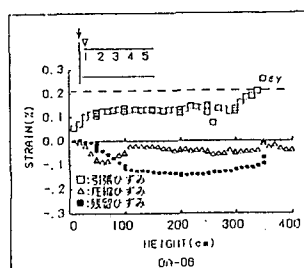
が続く。

- ・ 垂直塑性変位が主として生じ始める。
- ・ ここでは載荷側のアンカーボルトが塑性変位を生じ  
 伸び始めるが、リブ前面のモルタルにより水平変位  
 は拘束されるため垂直変位のみが生じる。

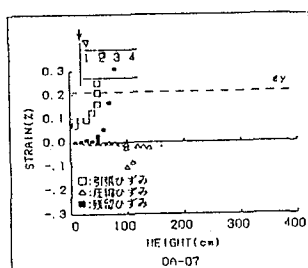
#### 3) 領域3

- ・ 急激にひずみが大きくなる。
- ・ 水平および垂直の塑性変位も発生する。
- ・ ここではリブ前面のモルタルにせん断面が形成され、  
 アンカーボルトは曲げを伴う伸び変形をするため水  
 平変位が生じる。

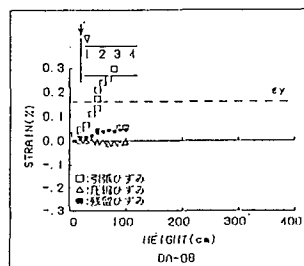
本年度の実験だけでなく、昨年までに行われた一面せん  
 断試験においても、変位やひずみは8供試体全てに共通し  
 てこのような段階的な挙動を示しており、リブ付ライナ  
 ー一定着構造の挙動がよく再現されている。



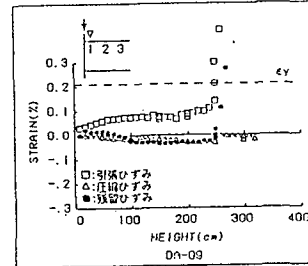
(a) DA-6



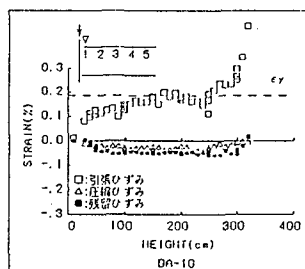
(b) DA-7



(c) DA-8



(d) DA-9



(e) DA-10

図-7 落下高さとピークひずみ関係

### 3. 2. 3 崩壊性状

実験は、アンカーボルトが破断するか、T型荷重伝達治具と供試体のコンクリート上面にある隙間(25mm)が無くなった時点で終了した。図-8 (a), (b), (c)にそれぞれDA-6, DA-9, DA-10のクラック図およびリブ前面モルタルのせん断破壊図を示す。

平板ライナーを用いたDA-7, DA-8では、それぞれ、正面右側2本、正面上側2本のアンカーボルトが破断して崩壊に至り、コンクリート躯体には実験終了時までクラックは見られなかった。崩壊に至った落下高さは、DA-7が140cm, DA-8が100cmであった。これらは、リブ付ライナーを用いたものに比べ早い段階で崩壊に至っており、衝撃载荷においても十字リブの効果が確認された。

リブ付ライナーを用いた他の3体(DA-6, DA-9, DA-10)についてみると、これらの供試体では落下高さの上昇に伴いライナー周辺にクラックが発生し、その後それらのクラックが進展した。クラックは、まずリブ端から横に生じ、その後周辺部へ広がっていった。崩壊に至った落下高さはDA-6が400cm, DA-9, DA-10が320cmであり、いずれもアンカーボルトの曲げ、伸びを伴うせん断変形(一

部破断) およびリブ前面モルタルのせん断破壊により崩壊した。この崩壊性状は、過去2年間に行われた実験でのそれとほぼ同様である。

なお、供試体DA-7, DA-8, DA-9ではアンカーボルトの付着長を短くしたが、いずれもアンカーボルトの引き抜け崩壊は発生しなかった。

### 3. 2. 4 アンカーボルトのひずみ分布

図-9に、DA-6とDA-10のアンカーボルトのひずみ分布の一例を示す。これは、軸ひずみと曲げひずみのピーク値を結んだものである。図中の実線は、水平力を受ける杭の設計に用いられるChangの式<sup>7)</sup>により求めたひずみの分布形状を表している。また、 $P_h$ はChangの式を用いることにより得られたアンカーボルトに作用する水平荷重、 $K_h$ は弾性地盤反力係数、 $P_v$ は各ひずみ測定点での軸力、 $H$ は落下高さを表している。これより、軸ひずみは躯体表面から300mmの測定点まで生じており、軸力に対し付着力によってこのあたりまでアンカーボルトが抵抗していることがわかる。

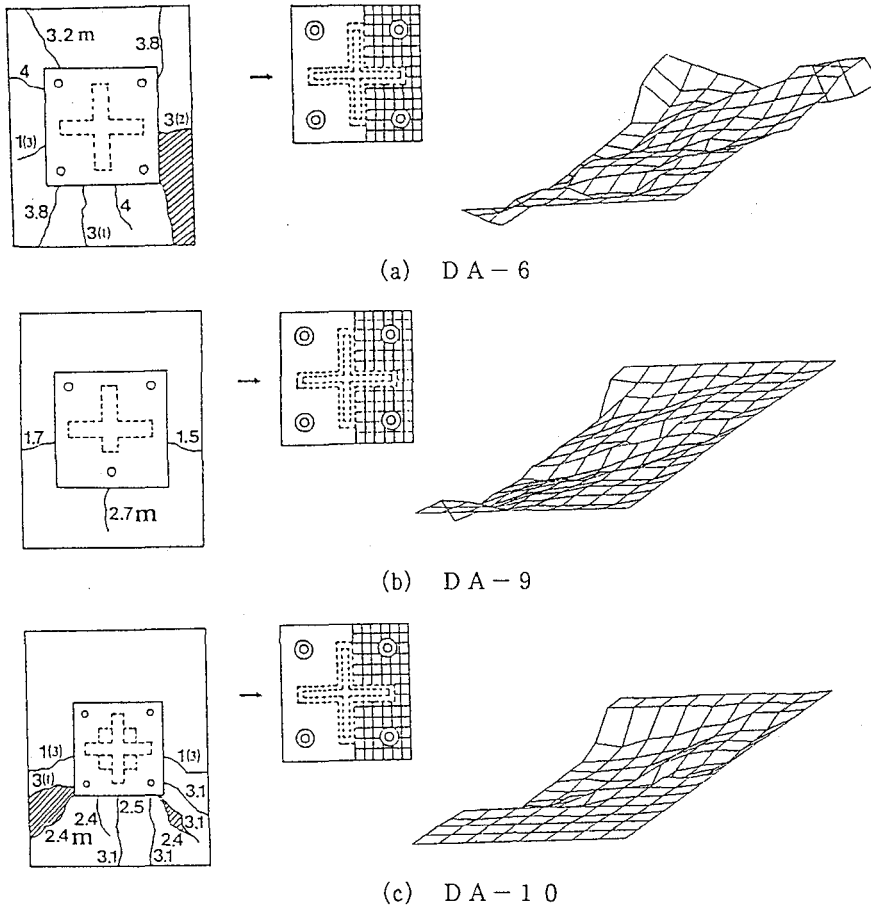
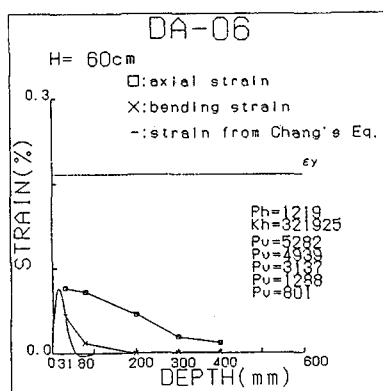
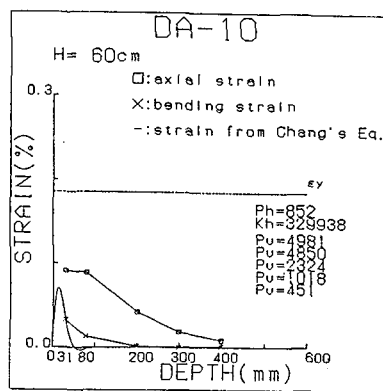


図-8 クラックおよびせん断破壊された様子を示す図

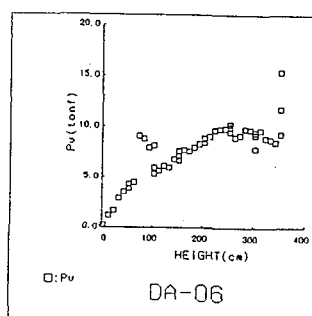


(a) DA-6

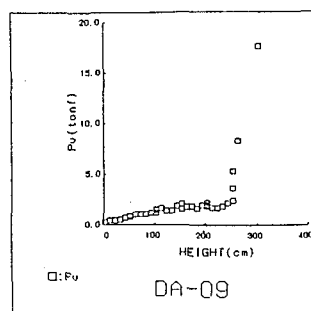


(b) DA-10

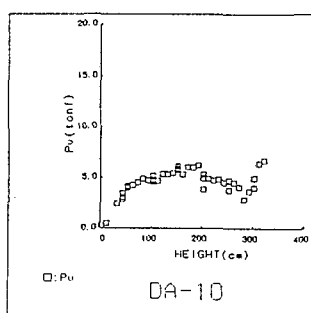
図-9 アンカーボルトのひずみ分布 (衝撃载荷実験)



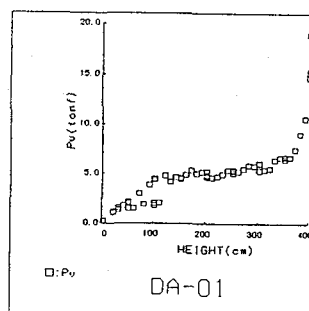
(a) DA-6



(b) DA-9



(c) DA-10



(d) DA-1

図-10 落下高さと軸力関係

付着応力 $f_{bod}$ は文献15)によると以下の式で与えられる.

$$f_{bod} = \frac{0.6 \cdot f_{ck}'^{2/3}}{\gamma_c} \quad (f_{bod} \leq 33 \text{ kgf/cm}^2) \quad (3)$$

$\gamma_c = 1.0$  (使用限界状態)

1.3 (終局限界状態)

である. ここに,  $f_{ck}'$  はコンクリートの圧縮強度,  $\gamma_c$  はコンクリートの材料定数である. いま, アンカーボルトの軸力 $N$ を $N = a_e \cdot \sigma_y$ とすれば, 付着長 $l$ は次のように求められる.

$$l = \frac{N}{\pi \cdot D \cdot f_{bod}} = \frac{a_e \cdot \sigma_y}{\pi \cdot D \cdot f_{bod}} \quad (4)$$

ここに,  $a_e$  はアンカーボルトネジ部の断面積 (公称値を0.8倍したもの<sup>18)</sup>),  $\sigma_y$  は降伏応力,  $D$  はアンカーボルト径である. いま,  $\gamma_c$  を使用限界状態の値である1.0とし,  $f_{ck}'$  を $400 \text{ kgf/cm}^2$ とすると $f_{bod}$ は $32.6 \text{ kgf/cm}^2$ となった. この値と表-6に示すボルト断面積, 降伏応力および外径を式(4)に代入して付着長を求めると, D19で41.0 cm, D22で50.8 cm, D25で57.5 cmとなり, 必要付着長はアンカーボルト径の約22倍となった.



表-5 アンカーボルトの付着応力

| 供試体   | 付着応力(kgf/cm <sup>2</sup> ) |            |             |             |
|-------|----------------------------|------------|-------------|-------------|
|       | 深さ20～80mm                  | 深さ80～200mm | 深さ200～300mm | 深さ300～400mm |
| DA-6  | 1.20                       | 25.21      | 69.45       | 41.94       |
| DA-10 | 3.33                       | 43.01      | 37.66       | 15.78       |

表-6 アンカーボルトの諸量

| アンカー<br>ボルト | ネジ部断面積<br>( $\text{cm}^2$ ) | 降伏応力<br>( $\text{kgf/cm}^2$ ) | ボルト径<br>( $\text{cm}$ ) |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| D19         | 2.292                       | 3500                          | 1.91                    |
| D22         | 3.097                       | 3730                          | 2.22                    |
| D25         | 4.054                       | 3690                          | 2.54                    |

次に、実験より得られたコンクリート表面から31mmの点でのひずみの値から計算した軸力と、重錘の落下高さとの関係を図-10に示す。文献13)に示したDA-1の実験結果も図-10(d)に示す。軸力は、いずれの供試体もまず線形的に増加し、次第に増加幅が小さくなり、ある落下高さから一定値を示した。その後軸力は増大し、定着構造は崩壊に至った。そのため、ここでは降伏軸力までの範囲における最大軸力と同程度の付着力が必要であると、式(4)より必要付着長を求めることとする。なお、アンカーボルト3本の定着構造であるDA-9は、4本の定着構造の供試体とは異なった傾向にあるため、ここでは考慮しない。

DA-6は、落下高さ220cmのあたりで軸力が降伏に至った。このとき、各ひずみ測定点での軸力から付着応力を求めると、表-5のようになった。ここで、深さ200mmから300mmでの付着応力が最大となっているが、これは深さ200mmまでの付着が切れているためと考えられる。

次に、DA-10では、軸力が降伏軸力に至る前に落下高さ190cmのところで最大値に達した。

このときの付着応力を同様にすると、表-5のようになった。これより、深さ80mmまでは付着応力の値が小さく、付着は切れていると考えられるが、深さ80mmから300mmまでの付着応力にあまり差がなく、この範囲ではまだ付着は切れていないと考えることができる。しかし、この付着応力は、軸力を考慮すると限界でないと考えられるので、付着長の算定にはDA-6で得られた最大付着応力 $69.45 \text{ kgf/cm}^2$ を用いるとする。

式(4)において、 $f_{b\sigma d}=69.45\text{kgf/cm}^2$ とし、アンカーボルトに応じて表-6の各値を用いると、必要付着長は表-7のようになる。この結果と実験で実際に引き抜け破壊が生じていないことより、必要付着長はアンカーボルト径の11倍程度とすることができる。このように、実験結果から得られた付着長は式(3)より得られる付着応力を用いたときの半分程度となり、実際には非常に経済的な設計が可能であるといえる。

#### 4. エネルギー吸収能の評価

#### 4. 1 実験における衝撃吸収エネルギーの評価

一度の衝突によりライナー定着構造に吸収されるエネルギーは、重錘の持つ運動エネルギーと弾性限界エネルギーの差から求めることができる。弾性限界落下高さ $h_0$ を用いれば、吸収エネルギーは $mg(h-h_0)$ と表される。ここに、 $m$ は重錘重量、 $h$ は重錘の落下高さである。従って、重錘の衝突により吸収されるエネルギーは、この総和により求められる。ここでは、弾性限界落下高さは、3.2.2で述べたようにライナー面垂直方向塑性変位が生じ始めた点とした。この考え方により得られた各供試体の弾性限界落下高さおよびエネルギーを表-8に示す。

表-7 アンカーボルトの必要付着長

| アンカー<br>ボルト | 必要付着長<br>(cm) | 径に対する比 |
|-------------|---------------|--------|
| D19         | 19.2          | 10.1   |
| D22         | 23.9          | 10.7   |
| D25         | 27.0          | 10.6   |

表-8 弾性限界落下高さおよびエネルギー  
(リブ付ライナー)

| 供試体   | 限界高さ<br>(cm) | 限界工率<br>(tonf・m) | DA-1に<br>対する比 |
|-------|--------------|------------------|---------------|
| DA- 1 | 170          | 0.184            | 1             |
| DA- 2 | 60           | 0.0648           | 0.352         |
| DA- 6 | 240          | 0.598            | 3.25          |
| DA- 9 | 230          | 0.573            | 3.11          |
| DA-10 | 100          | 0.150            | 0.815         |

また、これを用いて計算した累積衝撃吸収エネルギーとライナー面平行方向塑性変位の関係を、図-11に示す。

今回、DA-6には大型化したライナーを用いたが、ライナー面平行方向塑性変位の立ち上がり後の傾きは、一昨  
年行われたDA-1と概ね一致した。また、弾性限界エネルギーは3.25倍と面積比(1.56)以上となった。そして、  
累積吸収エネルギーは約3倍と面積比以上に大きくなった。

また、アンカーボルト本数を3本としたDA-9についてみると、塑性変位の立ち上がり後の傾きは他の供試体と同程度であるが、立ち上がり部の吸収エネルギーの値はDA-6に比べかなり小さなものとなった。このように、アンカーボルト本数の違いによる吸収エネルギーの差は大きく、4本のものに比べれば3本のはエネルギー吸収能が低下した結果となった。そのため、現段階ではその使用範囲を限定する必要があると思われる。つまり、あまり大きな荷重を受けないと考えられる位置での使用は可能と思われるが、岩石の衝突により大きな水平衝撃力が

繰り返し作用する可能性の高い水路床や水通し部、また一回の衝突により定着構造が崩壊に至るような巨礫が流出する恐れのある箇所では使用すべきではないと考えられる。

DA-10はライナーのリブの根元にモルタルがまわらない施工不良の影響をみるものであるが、その結果はDA-1とほとんど一致したが、終局時の吸収エネルギーはDA-1の8割程度となった。これは、図-8(c)から分かるように十字リブ先端からモルタルのせん断面が発生するため、リブの根元のモルタルの有無にはさほど影響を受けなかったと考えられる。このことにより、実際に現場で発生する程度の施工不良であれば、その強度特性にはほとんど影響がないことが確かめられた。

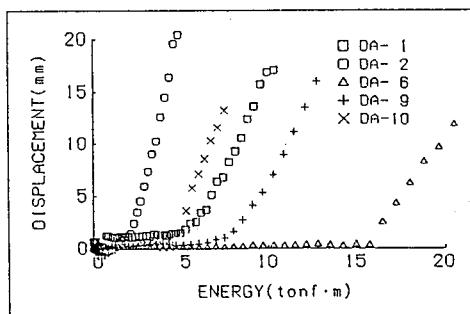


図-1 1 累積衝撃吸収エネルギーとライナー面平行方向塑性変位関係

## 5. 結論

本研究では、メタルライナー定着構造の設計法の確立のため、文献13), 14)の実験に引き続き合計5体の供試体について一面せん断衝撃載荷実験を行った。得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 50cmx50cmのメタルライナーを用いたDA-6供試体の累積吸収エネルギーは、従来型の40cmx40cmのものの約3倍となり、面積比1.56よりも大きくなり、有利な定着構造となった。
- 2) アンカーボルト3本の定着構造のDA-9の累積吸収エネルギーは、4本の定着構造であるDA-6に比べ45%程小さく、アンカーボルト3本の定着構造は限定して使用される必要がある。
- 3) アンカーボルトの付着長は、引き抜け崩壊をさせないためにボルト径の11倍程度必要である。
- 4) ライナーのリブの根元にモルタルがまわらない施工不良は、通常の施工で考えられる程度であれば定着構造の強度やエネルギー吸収能にはほとんど影響が無い。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究補助金一般研究(C) (課題番号06650516) を受けて行ったものである。

## 参考文献

- 1) 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れきの衝撃模型実験に関する一考察, 構造工学論文集 Vol. 35A, 1989. 3, pp. 1095-1104.
- 2) 芦田和男: 土石流概論, 新砂防 Vol. 44 No. 6(179), 1992. 3, pp. 41-47.
- 3) 砂防・地すべり技術センター: 鋼製砂防構造物設計便覧, 昭和62年.
- 4) 建設省土木研究所, 砂防部砂防研究室: 土木研究所資料, 砂防ダムの災害実態調査(2), 土木研究所資料第2491号, 昭和62年4月.
- 5) 水山高久, 松村和樹, 山本卓朗: 土石流対策施設に適用する緩衝材の効果評価, 新砂防, Vol. 41 No. 3(158), 1988. 9, pp. 17-22.
- 6) 土木学会: 土木技術者のための振動便覧, 1985.
- 7) 土木学会: 構造力学公式集, 昭和61年.
- 8) J. A. Zukas, T. Nicholas, H. F. Swift, L. B. Greszczuk and D. R. Curran: Impact Dynamics, A Wiley Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, 1982.
- 9) 水山高久: 砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点, 新砂防, Vol. 32, No. 1(112), 1979. 8, pp. 40-43.
- 10) W. Goldsmith: Impact (The Theory and Physical Behavior of Colliding Solids), Edward Arnold, 1960.
- 11) 土木学会: 構造物の衝撃挙動と設計法, 1994.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 伊藤義人, 片岡誠, 川口雅樹, 草田昭一: メタルライナー取付構造の耐衝撃特性とエネルギー吸収能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 40A, 1994. 3.
- 15) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], 1986. 10.
- 16) 日本機械学会: 機械工学便覧, 1968.
- 17) M. Y. H. Bangash: Impact and Explosion, Blackwell Scientific Publications, 1993.
- 18) 岡田恒男, 田中礼治, 松崎育弘, 坂本功, 河村壮一: あと施工アンカー, 技術書院, 1990.
- 19) 秋山宏: 鉄骨柱脚の耐震設計, 技報堂出版, 1985.
- 20) 谷口紀男: 硬脆材料の衝撃破砕加工法, 誠文堂新光社, 1959.

(1994年9月14日受付)