

防衛大学校土木工学教室

○石川信隆

同上

伊藤一雄

シバタ工業 (株)

生駒信康

砂防・地すべり技術センター

鈴木 宏

## 1. 緒言

近年, 土石流の先端部にある巨礫を受けとめることを目的とした透過型の鋼製砂防ダムが数多く建設されるようになってきた<sup>1)</sup>。著者らも, これらの耐衝撃性能を調べるための基礎的研究としてコンクリート充填鋼管や中空鋼管に対する実験のおよび解析的研究を行ってきた<sup>2) 3)</sup>, コンクリート充填鋼管は, コンクリート充填の効果により耐荷力および吸収エネルギーが中空鋼管に比べて2~3倍も上昇するが, 脆性的な破壊をおこすことが認められた。一方, 中空鋼管は, 脆性的な破壊はおこさないが荷重点での局部変形により剛性が著しく低下することがわかった。そこで, 本研究はある程度の局部変形を許すことにより脆性破壊を防止しストローク (変形性能) により外力エネルギーを吸収しようという発想から, 鋼管内部にラバーを充填したラバー充填鋼管を提案し, ラバー充填鋼管はりに対してラバー充填の効果を実験的に考察を行ったものである。

## 2. 実験の概要

### 2.1 試験体の概要

実験に用いた試験体は, 図-1のような一般構造用炭素鋼管で鋼管径89.1mm, 肉厚3.2mm, 鋼管長80cm (スパン長60cm)のものに対して, 中空のもの (A試験体), 鋼管内部にラバーを半分充填したもの (C-1試験体), ラバーを完全に充填したもの (C-2試験体), およびラバー+鋼繊維 (スチールファイバー) を完全に充填したもの (D試験体) の4種類を用いた。

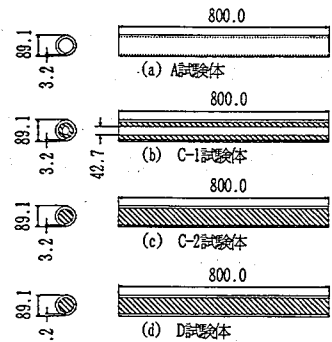


図-1 試験体の概要

### 2.2 実験装置

(1) 静的曲げ実験 図-2に示すように, 試験体をスパン60cmで単純支持し, その中央点に200t型アムスラー荷重装置で荷重を加えて実験を行った。測定項目は, 荷重点荷重, 荷重点上変位 (荷重板の変位), 下変位 (試験体下縁の変位) およびひずみで, 荷重については, 荷重板に取り付けたロードセルで, また変位については, ひずみ式変位計を用いて上変位および下変位を計測した。この上変位から下変位を引くことにより局部めり込み量を求めることができる。次にひずみについては, 図-2に示す位置にひずみゲージを貼布して測定した。この際, すべての実験で試験体に接触する荷重体の形状が等しくなるように荷重用治具を荷重点に設置した。

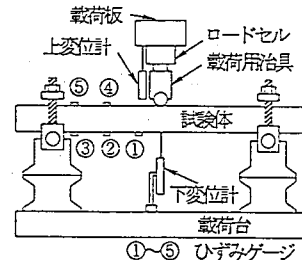


図-2 静的曲げ実験装置

(2) 落錘式衝突荷重実験 図-3に示すように, 重錘 (100kgf・150kgf) を荷重用治具上にガイ

ドを通して自由落下させて、試験体に衝突速度8m/sで衝突させる衝突載荷実験を行った。試験体は、静的曲げ実験と同様にスパン60cmで単純支持し、静的実験と同じ載荷用治具を試験体上に設置した。測定項目は、載荷点荷重、変位および鋼管のひずみで、荷重は重錘にとりつけたロードセルによって、変位は載荷用治具（はりの上縁）とはりの下縁にそれぞれ光学式変位計用ターゲットをとりつけ、載荷用治具の変位（鋼管上縁の変位）および鋼管下縁の変位（試験体全体の変位）を計測した、載荷用治具の変位（上変位）と鋼管下縁の変位（下変位）の差より局部変位（めり込み量）を求めた。また、ひずみについては静的実験と同じ位置にひずみゲージを貼布し計測した。

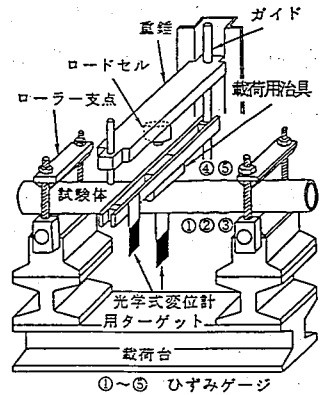


図-3 落錐式衝突載荷実験装置

### 2.3 実験ケース

本実験は、重錘の衝突速度を一定として、重錘の重量を100kgfと150kgfの2種類を用いて表-1に示すような組み合わせで実験を行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 静的曲げ実験

静的曲げ実験から得られた、荷重～上変位関係を図-4に示す。これよりC-2とD（ラバー全充填）は塑性硬化型を示しており、変形が進むほど荷重が大きくなる。一方、A（中空）とC-1（ラバー半充填）については塑性軟化型を示し、C-1についてはAとC-2・Dの中間的な傾向を示している。中空鋼管については、局部変形（局部めり込み量）の影響により剛性が低下するため塑性軟化型を示し、ラバー充填鋼管については、局部変形により鋼管内部のラバーが圧縮されて曲げ剛性が上昇するため塑性硬化型を示すものと考えられる。なお、コンクリート充填鋼管の場合も図-4に併記したが、荷重は中空鋼管・ラバー充填鋼管に比べて2～3倍もの大きな値を示しているが、約7cmの変位で鋼管が破断してしまい脆性的な性質を示している。

表-1 実験ケース

| 衝突実験（衝突速度V=8m/s一定） |     |      |        |
|--------------------|-----|------|--------|
| No                 | 試験体 | 試験体名 | 重錘重量   |
| 1～3                | A   | A1E1 | 100Kgf |
| 4～6                |     | A1E2 | 150Kgf |
| 7～9                | C-1 | C1E1 | 100Kgf |
| 10～12              |     | C1E2 | 150Kgf |
| 13～15              | C-2 | C2E1 | 100Kgf |
| 16～18              |     | C2E2 | 150Kgf |
| 19～21              | D   | D1E1 | 100Kgf |
| 22～24              |     | D1E2 | 150Kgf |

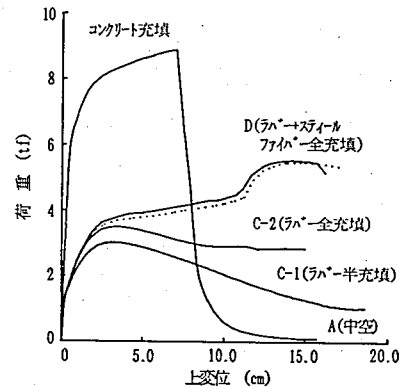


図-4 静的荷重～変位関係

図-5は図-4の荷重～上変位関係を逐次積分していくことによって得られる吸収エネルギー～上変位関係を示している。これからも中空に比べてラバーを充填した方が吸収エネルギーが大きいことがわかる。特に塑性硬化型の影響で大きい変位での吸収エネルギーの差が顕著に認められる。また、コンクリート充填鋼管はりと比較してみると、コンクリート充填鋼管はりの方がエネルギーの立ち上がりは大きい、脆性的であるため小さい変位で破断してしまうが、ラバー充填鋼管はりの場合立ち上がりの勾配こそ小さい（小さい変位の間では吸収エネルギーは少ない）がある程度の局部変位を許すために破断することがなく、変形が進ほど塑性硬化により荷重が大きくなっていくので大きな変位

(約15 cm)での吸収エネルギーは、コンクリート充填鋼管はりとほぼ同じ位の吸収能があることが認められる。

### 3.2 落錘式衝突载荷実験

(1) 荷重～時間関係 図-6に落錘式衝突载荷実験から得られた荷重～時間関係を示す、これよりAは荷重が時間とともに振動しながら減少しているが、A以外についてはある一定の荷重値で振動しているような形になっている。図中に示す実線を振動中心とすると、この値は衝突重錘の重量に関係なく各試験体についてはほぼ等しい値を示している。C-2・Dについては約4.2 tf、C-1は約3.2tf、Aについては特定しにくいが約2tf前後である。これより、ラバーを充填することにより明らかに剛性が上昇することが認められた。また、Aが減少する原因としては、局部変形しやすいため衝突点での断面変形がおり断面2次モーメントが低下するために、荷重が落ちていくと考えられる。

#### (2) 変位～時間関係

図-7に変位～時間関係を示す。これより衝突時の最大変位は、D、C-2、C-1、Aの順に大きくなっており、ラバー充填の効果が大きいほど小さくなっている。これは重錘重量が大きい150kgfの方が顕著である。

#### (3) 荷重～上変位関係

図-8に荷重～時間関係と変位～時間関係から時間軸を消去して得られる荷重～上変位関係(W=150kgf, V=8m/s)を示す。図中のなだらかな曲線は静的実験から得られた荷重～上変位関係を表しているが、これより衝突実験値は、静的実験の荷重～上変位関係を中心として振動するような形を示している。衝突実験からも、ラバーを充填したものは、弾塑性硬化型を示しており、ラバーを充填した効果が見られる。

(4) 吸収エネルギー～上変位関係 図-9に先ほどの荷重～上変位関係を逐次積分していくことによって得られる吸収エネルギー～上変位関係(W=150kgf, V=8m/s)を示す。図中点線は静的実験から得られたものを示している。これからも同じエネルギーが加わった場合、全てを吸収したときの

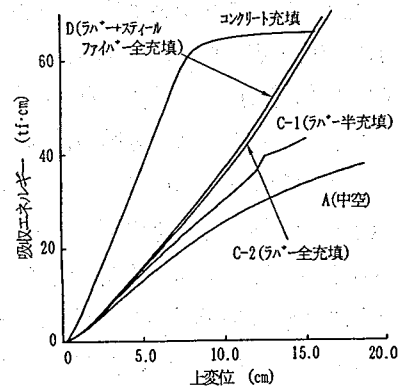
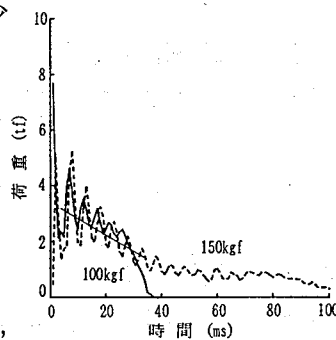
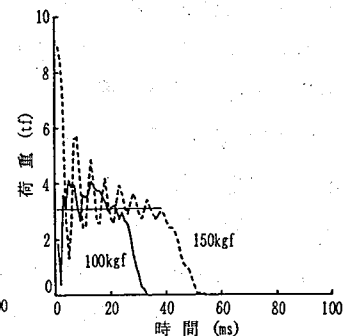


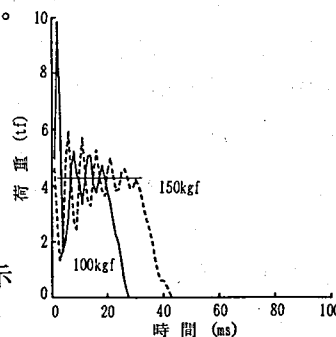
図-5 静的吸収エネルギー～上変位関係



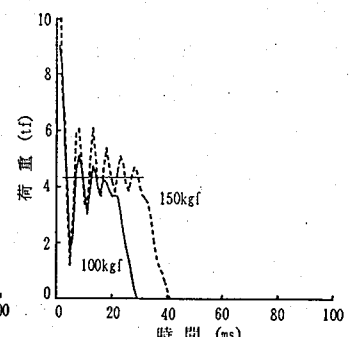
(a) A試験体(中空)



(b) C-1試験体(ラバー半充填)



(c) C-2試験体(ラバー全充填)



(d) D試験体(ラバー+スチール  
ファイバー全充填)

図-6 衝突実験 荷重～時間関係

変位は、重錘重量150KgfではAは約20cm、Dで約12cmとラバー充填の効果が現れている。

次に、静的実験から得られた吸収エネルギー～上変位関係と比較してみると各試験体について衝突実験から得られた吸収エネルギー～上変位関係の方がやや大きな値を示している。これは衝突が加わったときの試験体のひずみ速度効果による影響と考えられるが、本実験ケースでは、静的と衝突の差はそれほど顕著ではなく、静的実験から得られた吸収エネルギーは衝突実験と比較して安全側にでており、したがって、静的実験から得られる吸収エネルギーを設計用の限界吸収エネルギーとしても良いと考えられる。

#### 4. 結言

- (1) ラバー充填鋼管の場合、荷重～変位関係は弾塑性硬化型を示すので、大きな変位で中空鋼管はりに比べてラバー充填の効果を見ることができる。
- (2) 静的吸収エネルギーは、衝撃吸収エネルギーよりも安全側に出ているので、これを限界吸収エネルギーとしても良いと考えられる。
- (3) ラバー充填鋼管は、コンクリート充填鋼管ほどの耐荷力はないが、長いストロークによって大容量の外力エネルギーを受けとめることができ、また、脆性的破壊を防止することができるので、大規模な土石流発生予想区域において有利ではないかと思われる。

#### 参考文献

- 1) 砂防・地すべり技術センター 鋼製砂防構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧，昭和62年版
- 2) 伊藤一雄，石川信隆，川嶋幾夫，鈴木宏：モルタル充填鋼管はりの衝撃限界吸収エネルギーに関する実験的考察，構造工学論文集，Vol.37A，pp.1581～1589，1991年3月
- 3) 伊藤一雄，石川信隆，香月智，鈴木宏：コンクリート充填鋼管はりの衝撃限界吸収エネルギーに関する解析的考察，構造工学論文集，Vol.38A，1992年3月

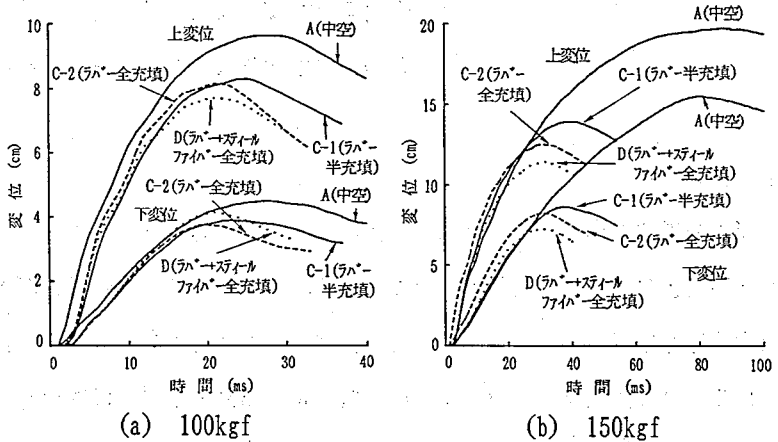


図-7 変位～時間関係

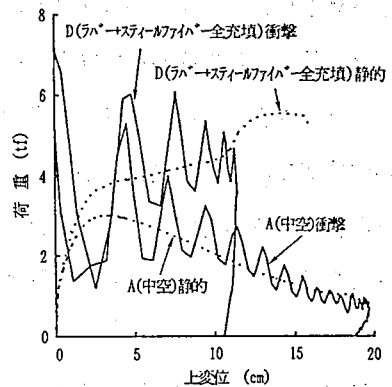


図-8 荷重～上変位関係

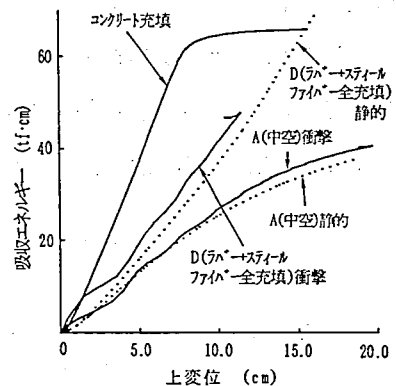


図-9 吸収エネルギー～上変位関係