

# ラバー充填鋼管はりの弾塑性解析

防衛大学校土木工学科 ○伊藤一雄

同上 香月 智

同上 石川信隆

シバタ工業 (株) 生駒信康

## 1. 緒言

土石流による衝撃荷重をうける鋼管構造物の耐衝撃性能を向上させる方法の一つとして、鋼管内部に、コンクリートやラバー等を詰めたハイブリッド部材の使用が検討されている。著者ら<sup>1)</sup>は、コンクリート充填鋼管の単純はり実験を行い、その結果、コンクリートを充填すると鋼管の耐荷力が上昇するが、比較的小さな変位で鋼管が破断するため、部材の靱性が小さくなることを明らかにした。また解析的に、その弾塑性挙動が破断限界を含めて、断面分割法によって良くシミュレートできることを示した。さらに、ラバー充填鋼管の単純はり実験の結果、ラバーを充填した鋼管の弾塑性挙動は、非充填の場合に比して、硬化型へ移行し、かつ、鋼管が破断しないためコンクリート充填に比して靱性の高い部材となることが明らかになった。

本研究は、ラバー充填鋼管の実験的研究を解析的見地から考察を行うため、修正した断面分割法によってその弾塑性挙動を解明する手法を提案するものである。

## 2. 従来の断面分割法<sup>2)</sup>の問題点

### 2. 1 曲げモーメント(M)～曲率(φ)

#### 関係の解析基本式

鋼とラバーの非線形な応力(σ)～ひずみ(ε)関係に基づく断面の曲げモーメント(M)～曲率(φ)関係を求めるため、まず図-1(a)に示すようにラバー充填鋼管断面をn個の

層状な離散断面に分割する。その上で、①断面の曲率φを与える。②中立軸の高さxを仮定し、ひずみ分布(図-1(b))を作り、各層ごとのひずみε<sub>i</sub>を求める。③ε<sub>i</sub>に対応する鋼とラバーの応力σ<sub>Si</sub>、σ<sub>Ri</sub>を求める。ここで、鋼とラバーの応力～ひずみ関係は、図-2に示す多段階線形近似式を用いた。④断面に働く引張力Tと圧縮力Cを次式を用いて計算する。

$$T = \sum_{i=1}^n \{A_{Si} \sigma_{Si} + A_{Ri} \sigma_{Ri}\} \quad (1)$$

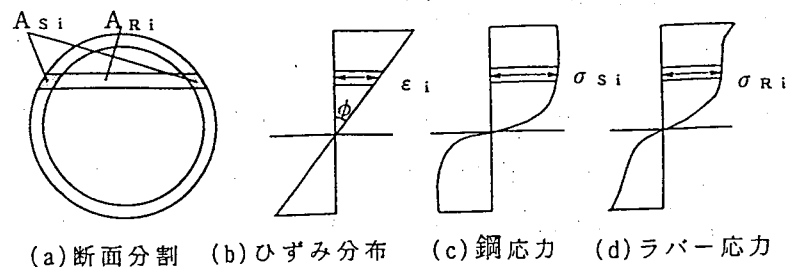


図-1 分割断面のひずみおよび応力分布

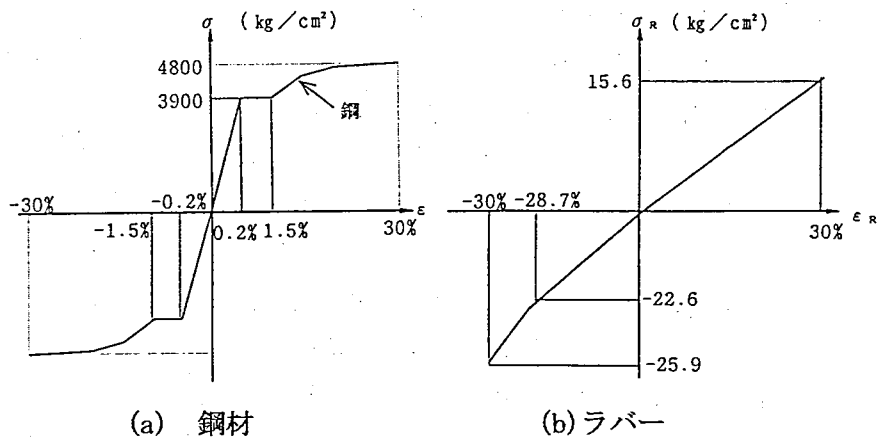


図-2 材料の応力～ひずみ関係

$$C = \sum_{i=1}^k \{A_{Si} \sigma_{Si} + A_{Ri} \sigma_{Ri}\} \quad (2)$$

ここで、 $A_{Si}, A_{Ri}$  : 分割断面  $i$  に属する鋼とラバーの面積、  
 $m, k$  : それぞれ引張側と圧縮側に属する分割断面の総数。

⑤引張力  $T$  と圧縮力  $C$  が等しくなるまで中立軸の高さ  $x$  を調整し、②～④を繰り返す。⑥釣り合った断面の引張力と圧縮力の作用中心を求め、 $T-C$ 間の距離  $z$  を求める。⑦  $\phi$  に対応する  $M$  を次式によって求める。

$$M = C * z = T * z \quad (3)$$

⑧  $\phi$  を逐次に増分して、断面の  $M \sim \phi$  関係を求める。

## 2. 2 単純はりの荷重 ( $P$ ) ~ 変位 ( $\delta_c$ ) 関係の解析基本式

前項の解析法による  $M \sim \phi$  関係を荷重 ~ 変位関係に変換するため以下の基本式を用いる。まず、曲げモーメント  $M$  と荷重  $P$  との関係は次式によって求められる。

$$P = \frac{4M_c}{L} \quad (4)$$

ここで、 $M_c$  : はり中央点での曲げモーメント、 $L$  : はりの長さ。続いて、中央点の曲率  $\phi_c$  と変位量  $\delta_c$  の関係は、図-3に示すような曲率分布を用いて次式によって与えられる。

$$\delta_c = \int_0^{L/2} \int_0^{L/2} \phi_x dx dx \quad (5)$$

ここで、 $\phi_x$  : はりの  $x$  点での曲率。

## 2. 3 解析結果と考察

直径89.1mm、肉厚3.2mmの鋼管の①コンクリート充填、②ラバー全充填、③ラバー半充填、④中空とした場合の、単純はり実験の荷重 ~ 変位関係を図-4に示す。コンクリート充填鋼管 (◆) は硬化型の弾塑性挙動でその最大荷重は、中空やラバー充填の約2倍で大きい。変位が約

7.5cmで急激に荷重が低下するが、これは鋼管が破断したためである。図中に示した断面分割法による解析結果 (◇) は、その弾塑性挙動を比較的良くシミュレートしている。一方、中空鋼管の実験結果 (■) は、軟化型の弾塑性挙動を示し、最大耐力もコンクリート充填の約2.5分の1と小さい。ラバー半充填 (●) の場合には、軟化の度合いが小さくなるが、最大耐力は依然として小さい。ラバー全充填 (▲) の場合には、硬化型の弾塑性挙動となり、その塑性域の荷重は、コンクリート充填の約2分の1程度となっている。これらの、実験結果に対して、図中 (□) と (△) で示した断面分割法によるラバー全充填および中空鋼管の解析結果は、塑性域の荷重で実験結果に対して過大であり、かつ中空の場合の軟化型の弾塑性挙動を表せない。

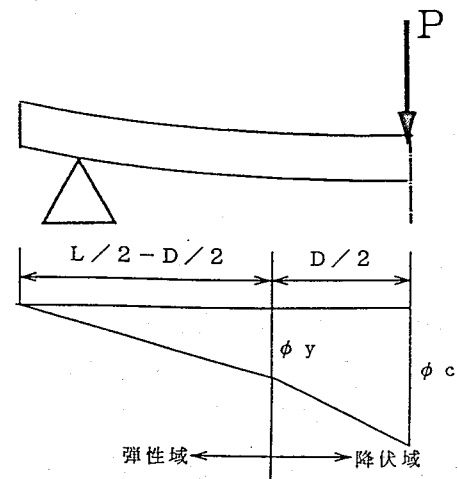


図-3 曲率分布

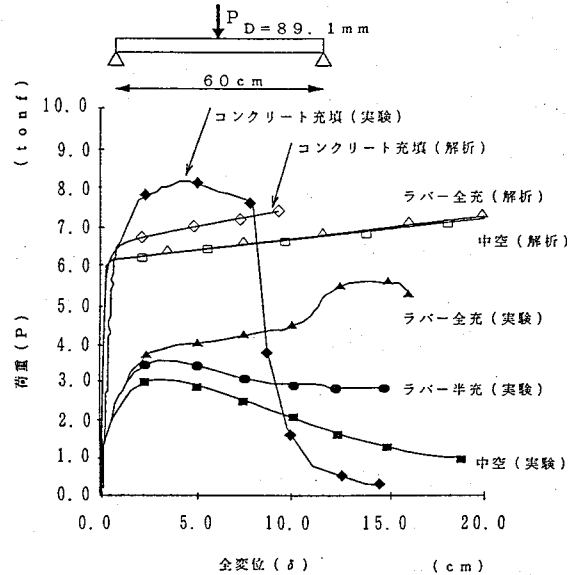


図-4 従来の断面分割法の解析結果と実験結果

3. 载荷点断面の偏平効果を考慮した断面分割法

3. 1 修正のための基本式

ラバー充填および中空鋼管の弾塑性挙動を、より良くシミュレートするために载荷点に生ずる断面偏平の影響を断面分割法に取り入れる手法について検討した。これ

は、図-5に示すように偏平後の断面は楕円形になるものと仮定し、偏平後においても断面分割数および各層に属する鋼・ラバーの断面積は、そのまま保たれるものとしたものである。よって、偏平後の形状に対する断面分割法によるM~φ関係の解析手法は原則的に従来のものと同じであるが、はりの曲率の増加に伴って偏平が進行することを表す関数を導入し修正した。この関数として、次の3つのものについて検討した。

$$\alpha = 1.0 - a\phi \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{1.0 - b}{1.0 + c\phi} + b - a\phi \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{1.0 - b}{1.0 + e^{((\phi - \phi_0)c)}} + b - a\phi \quad (8)$$

ここで、α：偏平率(D/D<sub>0</sub>)、D：偏平後の鋼管の短径、D<sub>0</sub>：偏平前の鋼管の直径、a,b,c：実験定数、φ<sub>0</sub>：偏平後の断面の弾性限界曲率。

式(6)、(7)、(8)の関数形を模式的に図-6に示す。すなわち、式(6)は単に直線的曲率に比例して偏平率が小さくなるものであり、式(7)は双曲線的に、式(8)は「シグモイド」関数によって曲率の小さい領域で急激に偏平率が小さくなり、その後線形的に偏平率が小さくなる関数である。

断面の偏平を導入したことにより、局部変位量δ<sub>L</sub>を次式によって算定した。

$$\delta_L = (D_0 - D) / 2 \quad (9)$$

よって、载荷点変位δは、次式によって求めた。

$$\delta = \delta_c + \delta_L \quad (10)$$

3. 2 解析結果と考察

図-7,8,9にそれぞれ式(6)、(7)、(8)による解析結果と実験結果を比較して示す。図-7から、式(6)による解析は、係数aを適当に変化させることによって、中空およびラバー充填鋼管の塑性領域での軟化型や硬化型の傾向を定性的に表すことができるが、弾性限界に相当する荷重が実験値で概ね4tonfで

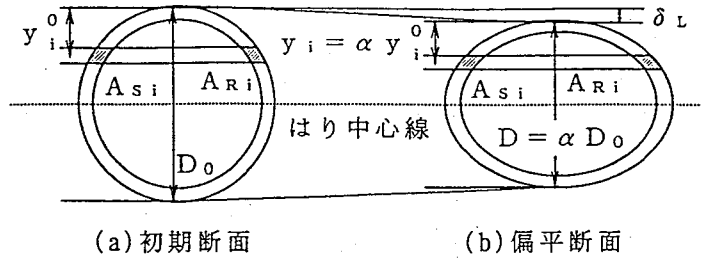


図-5 初期断面と偏平断面

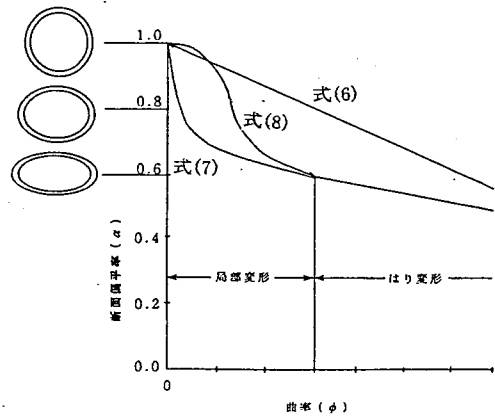


図-6 α~φ関係式

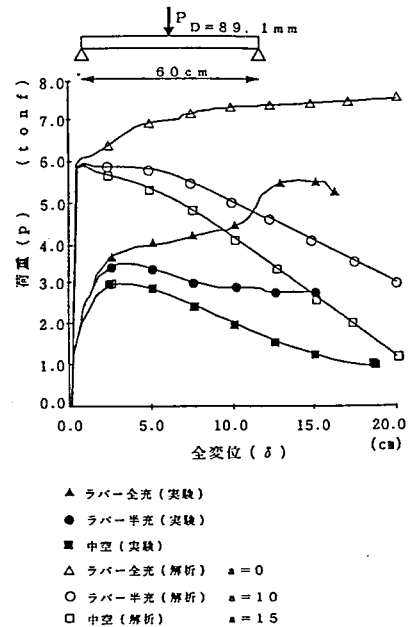


図-7 式(6)による解析

あるのに対して、解析値は約6tonfと明確に異なるため実験結果を表現することはできない。図-8より、式(7)による解析は、中空、ラバー半充填、ラバー全充填のそれぞれに対して、実験定数a, b, cを適当に変化させると、その軟化型および硬化型弾塑性挙動を比較的良くシ

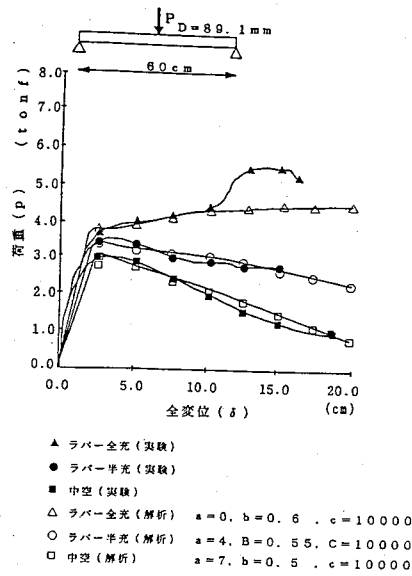


図-8 式(7)による解析

ミュレートできることがわかる。しかし、弾性領域の応答が実験では上側に凸の曲線であるのにたいして、解析値はやや下側に凸となり、定性的に異なったものとなっている。図-9から、式(8)は実験結果を弾性から塑性領域までほぼ良くシミュレートできている。よって、式(8)を用いて定数a, b, cを適切に決定する手法について、いろいろな実験結果と併せて今後検討することにより、ラバー充填および中空鋼管の弾塑性挙動を比較的簡易にかつ正確に解析できるものと思われる、

図-10には、図-9で実験結果と一致した解析結果の鋼材とラバーの荷重分担を示した。これより、ラバーは鋼材の1%以下の荷重しか分担していないことがわかる。よって、ラバー充填によって弾塑性挙動が軟化型

から硬化型に明確に変化する原因は、ラバー充填によって断面の偏平抑止効果が現れ、これによって鋼管断面の塑性モーメントの低下を抑止する間接的な寄与によるものであることがわかる。

参考文献

1) 石川、伊藤、生駒、鈴木：ラバー充填鋼管はりの耐衝撃性に関する一考察、平成4年度砂防学会研究発表会概要集、pp. 288~291、平成4年5月。  
2) Park, R, Kent D. C. and Sampson R. A.: Reinforced Concrete Members with Cyclic Loading, Proc. of ASCE, ST7, July 1972.

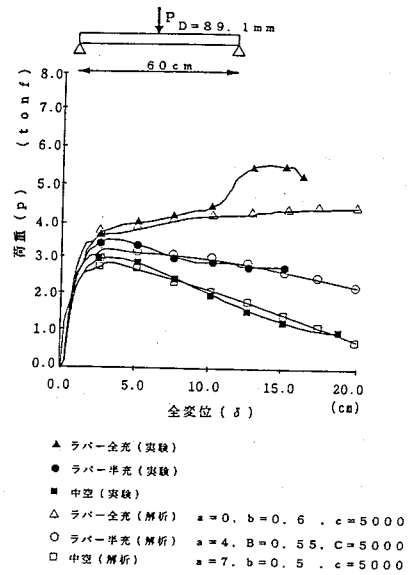


図-9 式(8)による解析

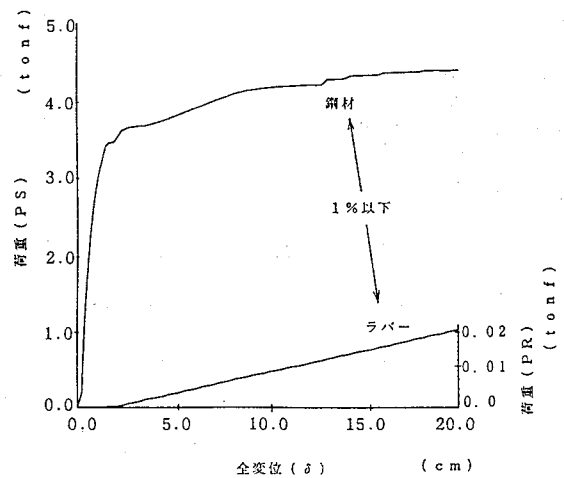


図-10 鋼とラバーの荷重分担