

# コンクリート巻立てヒューム管の力学的性状

福沢公夫\*・沼尾達弥\*\*・岩松幸雄\*\*\*  
・平野貴規\*\*\*\*

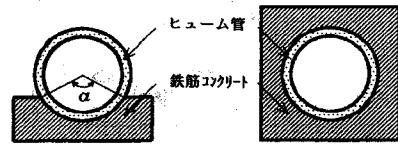
本文は、ヒューム管の周囲を鉄筋コンクリートで補強したコンクリート巻立てヒューム管に、その上下の中央部に集中荷重（線荷重）が作用するときの力学的挙動に関するものである。巻立て部厚さ、巻立て部鉄筋量、ヒューム管の径、載荷方法、巻立て部形状の影響を実験的に検討した。上記結果に基づきひびわれ・終局荷重の算定法を提案し、それらにより実測値を推定できることを示した。

**Keywords** : *hume pipe covered with reinforced concrete, cracking strength, ultimate strength, thin circular ring, thick circular ring*

## 1. 序 論

JIS A 5303に規定される遠心力鉄筋コンクリート管（以下、ヒューム管という）は、品質が安定しており、経済的であることや現場での施工が容易であること等のため、下水道の管路として多用されている。ヒューム管の基礎は、管に作用する荷重の大きさに応じて選定される。荷重の大きい場合には、図-1(a)のようにヒューム管の下側に鉄筋コンクリートの台を作り、その上にヒューム管を設置する。ヒューム管を支持する角度 $\alpha$ により90度、120度あるいは180度固定基礎と呼ばれている。しかし近年、地下埋設物が増加して、ヒューム管の埋設深さが増加したこと、車両の大型化が進行したこと等により、90度、120度あるいは180度固定基礎であっても耐荷力が不足する場合も多い。そのような場合には、図-1(b)のようにヒューム管の全周にわたって鉄筋コンクリートにより巻き立てる360度固定基礎が採用される。90度・120度・180度固定基礎については、構造的な研究が行われ<sup>1)~3)</sup>、設計方法も一定の方法が行われている<sup>4)</sup>。一方、360度固定基礎については、その場限りの設計方法で行われているのが実状であり、合理的な設計方法の確立が期待されている。

合理的な設計方法の確立のためには、まず、鉄筋コンクリートとヒューム管との複合構造の力学的挙動の解明が必要である。しかし、この種の構造についての研究報告は、きわめて少なく、筑波学園都市の工事に伴い行われた、実大模型に、上下より線荷重を載荷した実験の結果についての解析結果が報告されているに過ぎない<sup>5)</sup>。



(a) 90, 120, 180度固定基礎 (b) 360度固定基礎

図-1 ヒューム管の基礎

その報告には、①荷重の増加に伴いヒューム管と巻立て部とが分離し、その間に隙間が生じ（以下、この現象を肌別れという）、巻立て部に鉄筋が配置されていない場合には、その肌別れと同時に巻立て部の破壊に至ること、②ヒューム管と巻立て部の境界部に変形しやすい層を考慮した有限要素法により、荷重とひずみの関係を再現できることが述べられている。その報告には、著者の一人も関係しているが、試験体数も少なく、解析条件等も十分なものとはいえない。

本研究は、360度固定基礎の経済的かつ有効な設計方法を確立するための基礎的な研究として、鉄筋コンクリートにより360度巻立て補強されたヒューム管（以下、巻立て管という）の基本的な力学的挙動の解明を目的に行った。

一般に、地中に埋設されたヒューム管は、土圧等の分布荷重が作用するものとして設計されている。ここでは、巻立て管の力学的性状に及ぼす各種要因の影響およびヒューム管と巻立てコンクリートとの一体性を調べるために、荷重条件を、巻立て管の上下部中央に線荷重が作用する場合に単純化して、実験および解析的検討を行った。

## 2. 実験方法

本実験では、JIS A 5303「遠心力鉄筋コンクリート管」に規定されるヒューム管から、主として、呼び径（内径）

\* 正会員 工博 茨城大学助教授 工学部都市システム工学科 (〒316 日立市中成沢町4-12-1)

\*\* 正会員 茨城大学助手 工学部都市システム工学科

\*\*\* 正会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科

\*\*\*\* 正会員 工修 (株)熊谷組 (前・茨城大学工学研究科建設工学専攻)

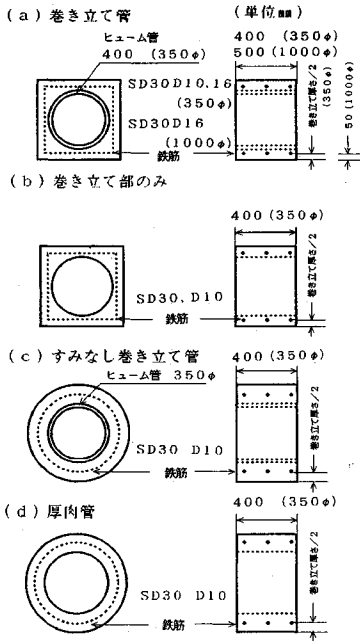


図-2 試験体の種類

表-1 要因と水準

	要因	水準	その他の条件
実験1	ヒューム管の種類 巻き立て厚さ(mm)	1種・2種 38~148mm	・350φ使用 ・巻き立て部のみの実験も行った ・38, 73, 108, 143(mm) (1種) ・38, 73, 108(mm) (2種)
実験2	鉄筋径 D (mm)	なし D 10 D 16	・350φ1種使用 ・巻き立て厚さ73mm
実験3	ヒューム管の 呼び径(mm)	350 1000	・1種使用, 1000φは2体 ・巻き立て厚さは呼び径×0.2 ・ヒューム管単体の試験も行った
実験4	載荷方法	単面増加 繰り返し	・350φ, 1000φ ・350φ 繰り返しは2体
実験5	巻き立て部すみの 有無	あり なし	・350φ1種使用 ・巻き立て厚さ 38, 73, 108mm (すみ有り) 43, 68, 118mm (すみ無し)
実験6	厚肉管の厚さ(mm)	68 93 143	・巻き立て部用コンクリート使用

注) 試験体は1体である。一部の試験では2体とし表中に示した。

表-2 コンクリート強度試験結果(例)

	材令(日)	圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> )
ヒューム管	28	578	364000
巻き立て部	28	259	273000

350 mm のヒューム管を、一部実験には、呼び径 1000 mm のヒューム管を使用した。

載荷試験を行った供試体は、図-2 に示すように、(a) 巻立て管、(b) 巻立て部のみ、(c) ヒューム管の周囲を一定の厚さの鉄筋コンクリートで補強したもの(以下、すみなし巻立て管と呼ぶ)、(d) 鉄筋コンクリート厚肉管である。さらに、比較のためにヒューム管単体についても載荷試験を行った。

実験は全部で6種類行い、おのおの実験で取り上げた要因と水準を表-1 に示す。以下、各実験の概要および実験方法を述べる。

(1) 実験の概要

① 巻立て厚さおよびヒューム管の種類が巻立て管の力学的性状に及ぼす影響(実験1)

呼び径 350 mm のヒューム管を用い、巻立て厚さを変化させ、巻立て管の力学的性状、特にひびわれ・終局強度に及ぼすヒューム管の強度および巻立て厚さの影響を実験的に検討した。なお、ヒューム管の強度の比較は、JIS A 5303 から外圧荷重の異なる1種および2種を用いて行った。

② 巻立て部の鉄筋量が巻立て管の力学的性状に及ぼす影響(実験2)

呼び径 350 mm のヒューム管1種を用い、巻立て厚さを73 mm と一定にして、鉄筋を配置しない場合および巻立て部の鉄筋径を変えることにより鉄筋量を変化させ、鉄筋量の強度に及ぼす影響を検討した。

③ ヒューム管の呼び径が巻立て管の力学的性状に及

ぼす影響(実験3)

呼び径 350 mm および 1000 mm のヒューム管1種を用いて、比較を行った。なお、巻立て厚さと呼び径の比はどちらの場合も0.2とした。呼び径 1000 mm のヒューム管を用いる場合は、端面におけるひずみ分布の測定、特に巻立て部とヒューム管との境界部の挙動の観察を行い、巻立て部とヒューム管との一体性について検討を行った。

④ 繰返し載荷が巻立て管の力学的特性に及ぼす影響(実験4)

巻立て管は、一般に埋設深さが大きく、繰返し荷重が作用することは少ないと思われる。しかし、場合によっては、回数は多くないとしても、繰返し荷重が作用することも考えられる。そこで、最大100回程程度の繰返し載荷が、ひずみおよび変形量に及ぼす影響を実験的に検討した。巻立て管に用いたヒューム管は、呼び径 350 mm 2種、1000 mm 1種の2種類とし、巻立て厚さは、③と同一である。

⑤ 巻立て部すみの有無が巻立て管の力学的性状に及ぼす影響(実験5)

通常360度巻立てを行う場合は、図-2(a)のように巻立て部外側が正方形となるように巻き立てる。すみなし巻立て管は、図-2(c)のように外側が円形となるように巻き立てたものである。350 mm ヒューム管1種を用い、巻立て厚さを変化させ、すみのある試験体(巻立て管)と比較した。この実験は、巻立て管の強度の計算方法として、計算方法が確立されている円環の計算方法を適用できるか検討するにあたり、すみの有無の影響を

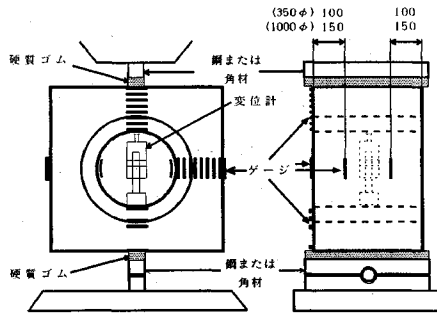


図-3 実験概要図

確認するために行った。

⑥ 厚肉管の肉厚がひびわれ強度に及ぼす影響 (実験 6)

内径を 416 mm として、厚さを変化させた厚肉管を作り、ひびわれ強度を比較した。巻立て管は、2重構造であるので、まず、単純な形の厚肉管に円環の計算方法を適用して、計算方法の妥当性の検討を行うために試験を行った。

(2) 試験体の製作

a) ヒューム管

実験に使用したヒューム管は、JIS A 5303 呼び径 350 mm および 1000 mm のヒューム管の 1 種または 2 種である。ヒューム管は、所定の長さに切断して用いた。ヒューム管の鉄筋は、JIS G 3532 「鉄線」に規定される普通鉄線(SWM-B)である。実験には、直径 2.6 mm から 6 mm の鉄線を用いた。最も多用した直径 2.6 mm の鉄線の降伏点および引張強さは、それぞれ 61.0 kgf/mm<sup>2</sup> および 65.9 kgf/mm<sup>2</sup> である。ヒューム管用コンクリートは、膨張コンクリートであり、その圧縮強度、ヤング係数の測定結果の例を表-2 に示す。

b) 試験体の製作方法

巻立て管は、ヒューム管を内型枠として、外側に所定の寸法となるように鋼または木製の型枠を配置して、その間に鉄筋かごを挿入した後、コンクリートを打設した。すみなし巻立て管の場合は、外型枠として紙筒を用いた。厚肉管の場合には、外側、内側ともに紙筒を型枠とした。巻立て部のみの場合には、外型枠は、巻立て管と同様であり、内型枠は、ヒューム管の代わりに紙筒を使用した。

巻立て部に配置した鉄筋には、JIS G 3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」に規定される SD30 の D10 および D16 を用いた。このうち、D10 の降伏点および引張強さはそれぞれ 38.5 kgf/mm<sup>2</sup> および 52.9 kgf/mm<sup>2</sup> である。巻立て部には、粗骨材の最大寸法 25 mm、水セメント比 60% のコンクリートを用いた。打設後 4 日目に脱型し、材令 28 日まで湿布養生を行い、以後気中に静置した。巻立て部のコンクリートの打設後 28~35 日

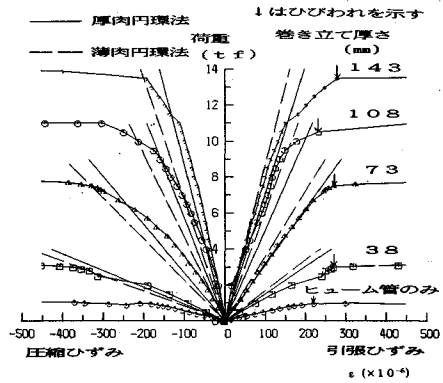


図-4 巻立て管の荷重と上下部ひずみとの関係

試験を行った。試験体と同一養生を行ったコンクリートの試験材令における試験結果の例を表-2 に示す。

(3) 試験方法

図-3 に示すように、試験体の上下中央部にて、静的に鉛直方向の線荷重を与えた。図-3 にはゲージおよび変位計の取付け位置もあわせて示した。ワイヤストレインゲージはゲージレングス 60 mm のポリエステル・ストレインゲージを用い、試験体の両端面から呼び径 350 mm のヒューム管を用いる場合で 10 cm、呼び径 1000 mm のヒューム管を用いる場合で 15 cm のところに貼付した。変位計は試験体中央にて、荷重方向の管の変形を測定した。呼び径 1000 mm のヒューム管を用いる場合は、端面におけるひずみ分布の測定も行った。

3. 各種要因の影響

本章では、載荷試験の結果について、実験に取り上げた要因の影響を述べる。

(1) 巻立て厚さおよびヒューム管の種別が巻立て管の力学的性状に及ぼす影響 (実験 1)

図-4 に 350 mm 1 種管を用いて、巻立て厚さを変化させたときの荷重と試験体の上下部における圧縮縁・引張縁の円周方向ひずみ (以下、上下部ひずみという) との関係を示す。なお、図中のひずみは、圧縮縁 (巻立て部外面)、引張縁 (ヒューム管内面) のひずみ測定値の中の最大値である。同図より、ある荷重までは、圧縮縁、引張縁ともに荷重とひずみの関係がほぼ比例していることがわかる。特に引張側で、この傾向が顕著である。

初ひびわれは、ヒューム管上下部内側のいずれかに発生した。荷重ひずみ図においてひずみの変化する点として求められる荷重と、肉眼観察によるひびわれ荷重とを比較すると、両者はほぼ一致するか、後者の方が若干大きい値を示す。本文においては、荷重ひずみ図から求められる荷重をひびわれ荷重とした。さらに載荷すると、

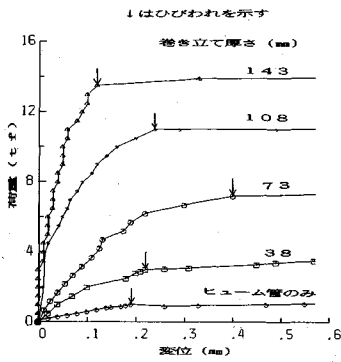


図-5 巻立て管の荷重変位関係

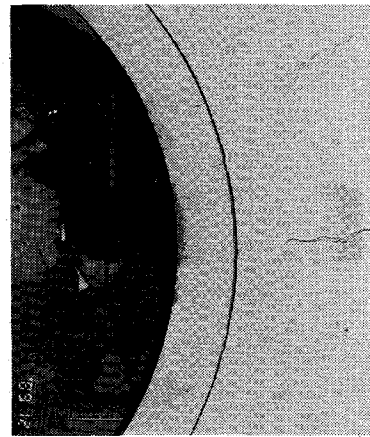


写真-1 肌別れ状況

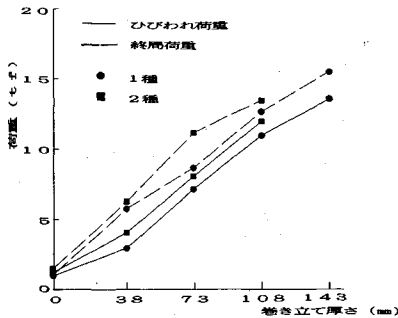


図-6 巻立て管のひびわれ・終局荷重に及ぼす巻立て厚さ・管種の影響

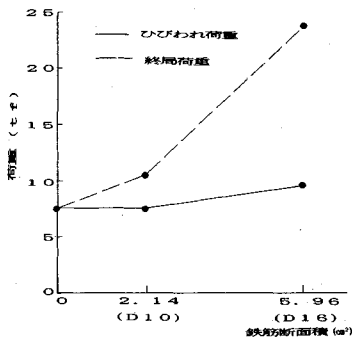


図-7 巻立て管のひびわれ・終局荷重に及ぼす鉄筋量の影響

最大荷重を示して、徐々に荷重が低下するという、比較的延性的な性状を示した。なお、本文においては、載荷中に得られる最大荷重を終局荷重とした。

図-5に350 mm 1種管を用いた巻立て管の荷重とヒューム管内径の鉛直方向変形量を示す。この図からも、ひびわれまでは、荷重と変形量の間にはほぼ直線的な関係のあること、ひびわれが発生すると急速に変形が進むこと、破壊までの塑性変形量は大きく、延性的であること等が観察される。以上は1種管を用いるときの結果であるが、2種管を用いる場合も同様の性状を示した。

図-6に2種管を用いる場合も含めて巻立て厚さを変

化させるときの、ひびわれ荷重および終局荷重の関係を示す。これによると、ひびわれ荷重および終局荷重ともに、巻立て厚さの増加につれて、ほぼ直線的に増加していることがわかる。

1種管を用いる場合と、2種管を用いる場合と比較すると、ひびわれ荷重、終局荷重ともに、2種管を用いる場合の方が1種管を用いる場合よりも、わずかではあるが、常に大きく、ヒューム管の強さが巻立て管の強度に影響することが示された。

### (2) 巻立て部の鉄筋量が、巻立て管の力学的性状に及ぼす影響 (実験2)

巻立て部に鉄筋を用いない場合には、ひびわれ発生と同時に破壊となることが報告されている<sup>5)</sup>。本研究の場合は、ひびわれ荷重を最大荷重とすることには変わらないが、ひびわれ荷重以後も、変形量の増加とともに荷重は低下するものの、巻立て部の崩落が起きることなく載荷することが可能であった。試験体の大きさ、試験機の剛性に起因するものと考えられる。

図-7に、鉄筋径を変化させるときのひびわれ荷重および終局荷重の変化を示す。この図より、巻立て部における鉄筋の配置は、終局荷重を飛躍的に増大させるが、ひびわれ荷重については顕著な影響を及ぼさないことがわかる。

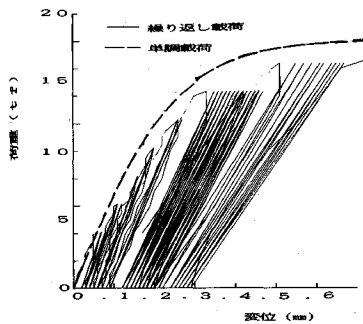
### (3) ヒューム管の呼び径が巻立て管の力学的性状に及ぼす影響 (実験3)

呼び径1000 mmのヒューム管を用いる場合の荷重ひずみ関係、あるいは荷重変形量関係は、呼び径350 mmのヒューム管を用いる場合と同様の結果が得られた。

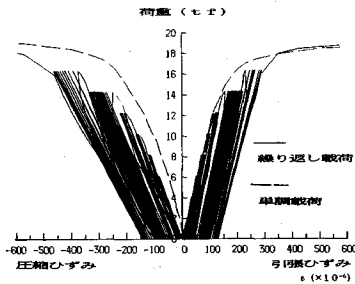
呼び径1000 mmのヒューム管を用いる場合は、巻立て部とヒューム管の境界部の観察を特に注意して行った。その結果、両者の肌別れが顕著になるのはひびわれ発生以後であるが、ひびわれ発生以前であっても多少の肌別れや“ずれ”が生じていることがわかった。

表一三 繰返し载荷の荷重と回数

荷重	0.1 $P_{cr}$	0.2 $P_{cr}$	0.3 $P_{cr}$	0.4 $P_{cr}$	0.5 $P_{cr}$	0.6 $P_{cr}$	0.7 $P_{cr}$	0.8 $P_{cr}$
回数	10	10	10	10	10	10	100	10



図一八 繰返し荷重を与えるときの巻立て管の荷重変位関係



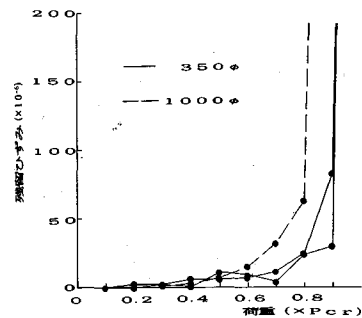
図一九 繰返し荷重を与えるときの巻立て管の荷重と上下部ひずみとの関係

写真一に呼び径1000mmのヒューム管を用いた巻立て管の載荷時(26tf)における肌別れの状況を示す。巻立て部とヒューム管との間に6mmもの隙間が観察されるが、この状態においても巻立て部が崩壊することはない。さらに載荷を行って、最大荷重は、28tfを記録している。呼び径1000mmのヒューム管を用いた巻立て管については、端面にゲージを貼付して、端面におけるひずみ分布を測定している。その測定結果およびひびわれ・終局荷重についての検討は、4. および5. で述べる。

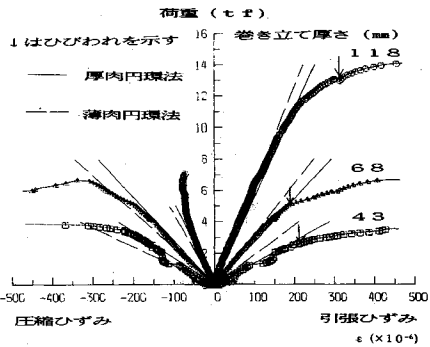
(4) 繰返し载荷が巻立て管の力学的特性に及ぼす影響 (実験4)

単調増加载荷により求めた同一の試験体のひびわれ荷重  $P_{cr}$  をもとにして、荷重は、表一三に示すように、 $0.6 P_{cr}$  までは、 $0.1 P_{cr}$  の間隔で、繰返し回数10回ずつ行った。 $0.7 P_{cr}$  では、繰返し数を100とし、 $0.8 P_{cr}$  からは、また、 $0.1 P_{cr}$  ごとに10回とした。

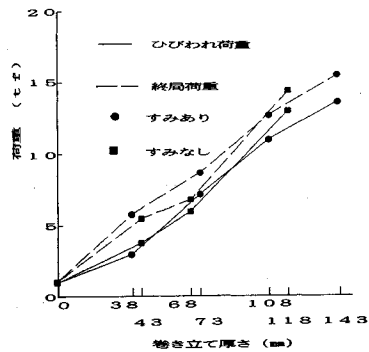
いずれの試験体も  $0.8 P_{cr}$  までの繰返しを行っても、ひびわれは観察されなかった。呼び径350mmのヒューム管を用いた場合のひびわれは、1体は  $1.0 P_{cr}$  に達した時点で、1体は  $0.9 P_{cr}$  における繰返しを終了して



図一〇 繰返し載荷後の引張縁ひずみの残留値の変化



図一〇 呼び径1000mmのヒューム管を用いた巻立て管の荷重と上下部ひずみとの関係



図一二 巻立て部すみの有無がひびわれ・終局荷重に及ぼす影響

$1.0 P_{cr}$  に増加させる途中の  $0.95 P_{cr}$  で発生した。呼び径1000mmのヒューム管を用いた場合は、 $0.8 P_{cr}$  における載荷を終了して、 $0.9 P_{cr}$  に荷重を増加させる途中の  $0.83 P_{cr}$  でひびわれが発生した。

図一八に呼び径1000mmのヒューム管を用いた試験体の荷重と変位の関係を、繰返し載荷と単調増加載荷を比較して示す。図一八に荷重と上下部ひずみについて、繰返し載荷と単調載荷を比較した結果を示す。これらの図から、繰返し載荷の曲線の包絡線は、単調載荷の曲線とほぼ一致することが示されている。

図一〇に、荷重と繰返し10回の載荷における引張縁

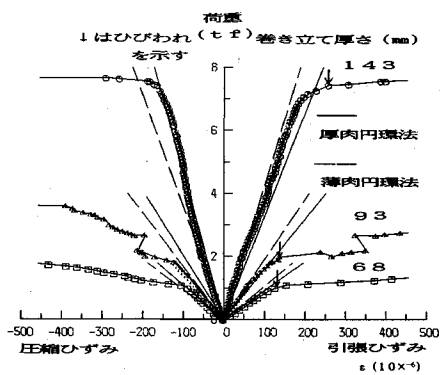


図-13 厚肉管の荷重と上下部ひずみとの関係

ひずみの残留値の変化を示す。ただし、 $0.7 P_{cr}$  の場合は、100 回の繰返しを行っているので、最初の 10 回の載荷における値とした。これより、いずれの試験体も  $0.6 P_{cr}$  までのひずみ増加量は小さく、 $0.7$  あるいは  $0.8 P_{cr}$  からひずみ増加量が増大する傾向にあることがわかる。

(5) 巻立て部すみの有無が巻立て管の力学的特性に及ぼす影響 (実験 5)

すみなし巻立て管の巻立て厚さを変化させるときの、荷重と上下部ひずみの関係を図-11 に示す。同図より、荷重が作用するときの性状は、巻立て管の場合と同様であることがわかる。

巻立て厚さとひびわれ・終局荷重の関係を図-12 に示す。ひびわれ荷重、終局荷重ともに、すみの有無による影響は認められない。本実験のように巻立て管に線荷重が作用する場合は、上下部と左右部のモーメントが大きいため、すみの有無の影響がみられないものと思われる。

(6) 厚肉管の肉厚がひびわれ強度に及ぼす影響 (実験 6)

図-13 に荷重と上下部ひずみの関係を示す。厚肉管の力学的な性状は、巻立て管と同様であることが示された。

4. ひびわれ荷重の計算方法

本章では、上下部中央より線荷重が作用する場合において、巻立て管のひびわれが発生するまでの荷重ひずみ関係およびひびわれ荷重の計算方法について論ずる。ヒューム管と巻立て部とのひびわれ強さを合計する方法 (以下、足し合わせ法という)、厚肉円環の計算方法 (以下、厚肉円環法という)、薄肉円環の計算方法 (以下、薄肉円環法という) の適用についての検討を行った。また、有限要素法 (以下、FEM 法という) による検討も行った。

(1) 計算方法

a) 足し合わせ法

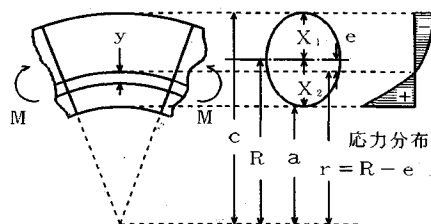


図-14 曲がりはり

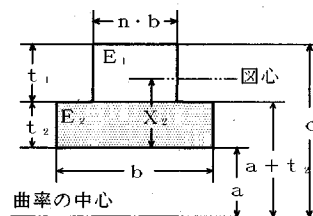


図-15 断面の考え方

巻立て管のひびわれ荷重は、ヒューム管のひびわれ荷重と巻立て部のひびわれ荷重の和とする方法である。つまり、ヒューム管と巻立て部とは、それぞれの部分が個々に外力に抵抗すると考える方法である。ヒューム管および巻立て部のひびわれ荷重は、実測値を用いる。

b) 厚肉円環法

肉厚 ( $h$ ) が肉厚断面の図心から中心までの距離 ( $R$ ) に比して、大きい円環に適用する方法である<sup>6)</sup>。このときの断面の応力分布は、直線的でなく、図-14 のような双曲線状になる。断面に働く力の総和が 0 となる条件から、中立軸は断面の図心より曲率の中心方向に移ることとなる。この図心からのずれを偏心量 ( $e$ ) とする。

この厚肉管に上下から中心方向に集中荷重  $P$  が作用するときの管頂、あるいは管底におけるモーメントは、式 (1) で求められる。

$$M = \frac{P}{\pi} (R - e) \dots \dots \dots (1)$$

圧縮縁の応力 ( $\sigma_A$ )、引張縁の応力 ( $\sigma_B$ ) は、式 (2) および式 (3) で求められる。

$$\sigma_A = -\frac{M \cdot (X_1 + e)}{A \cdot e \cdot c} \dots \dots \dots (2)$$

$$\sigma_B = -\frac{M \cdot (X_2 - e)}{A \cdot e \cdot a} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $A$ : 断面積、 $a$ : 円環の中心から引張縁までの距離、 $c$ : 円環の中心から圧縮縁までの距離、 $X_2$ : 図心から引張縁までの距離、 $X_1$ : 図心から圧縮縁までの距離を示す。ひびわれ荷重  $P_{cr}$  は、式 (3) において、 $\sigma_B$  にコンクリートの曲げ強度  $f_b$  を与えて、式 (4) で求められる。

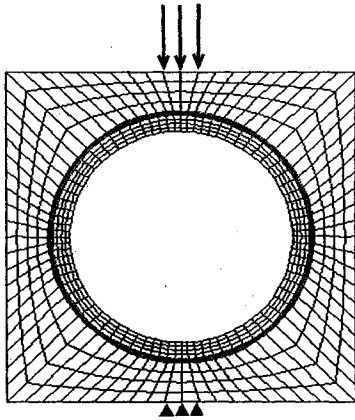


図-16 要素メッシュ

$$P_{cr} = \frac{\pi \cdot A \cdot e \cdot a \cdot f_b}{(R-e)(X_2-e)} \dots (4)$$

巻立て管において、巻立て部をヒューム管のコンクリートとして換算する方法は、図-15に示すように、部材1(巻立て部)の横幅  $b$  を弾性係数比 ( $n = E_1/E_2$ ) 倍することによって部材2(ヒューム管)と同じ弾性係数として取り扱うものである。したがって断面の形状は、逆T形として考える。ただし、巻立て管のすみの部分を見捨て、巻立て管もすみなし巻立て管として計算する。以下に、 $A, e$  の計算式を示す。

$$A = bt_2 + nbt_1 \dots (5)$$

$$X_2 = \frac{(b \cdot t_2 \cdot t_2/2) + n \cdot b \cdot t_1 \cdot (t_2 + t_1/2)}{b \cdot t_2 + n \cdot b \cdot t_1} \dots (6)$$

$$r = \frac{b \cdot t_2 + n \cdot b \cdot t_1}{b \cdot \log((a+t_2)/a) + n \cdot b \cdot \log(c/(a+t_2))} \dots (7)$$

$$e = R - r \dots (8)$$

c) 薄肉円環法

$h$  が  $R$  に比して小さい場合に適用できる。これは厚肉円環の特別な場合と考えられる。まっすぐなはりとして考えられるので応力分布は直線的になり図心のずれはない ( $e=0$ )。

したがってモーメントは、式(9)で求められる。

$$M = (P/\pi) \cdot R \dots (9)$$

なお、断面の換算方法および巻立て管におけるすみ部の扱いは、厚肉円環法の場合と同様である。

d) 有限要素法

呼び径 1000 mm のヒューム管を用いた巻立て管について変位法による線形の FEM 弾性静解析を行った。計算は市販の汎用有限要素法ソフトウェア COSMOS/M を使用した。解析に用いた要素メッシュを図-16に示す。

計算に用いたコンクリートの圧縮強度、弾性係数は、実測値を用いた。ポアソン比は、0.18 とし、せん断弾

表-4 ヒューム管の曲げ強度

内径	管種	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
350mm	1種	81.6
		65.3
		平均 73.4
	2種	97.9
106.1		
平均 102.0		
1000mm	1種	85.2
		85.2
		平均 85.2

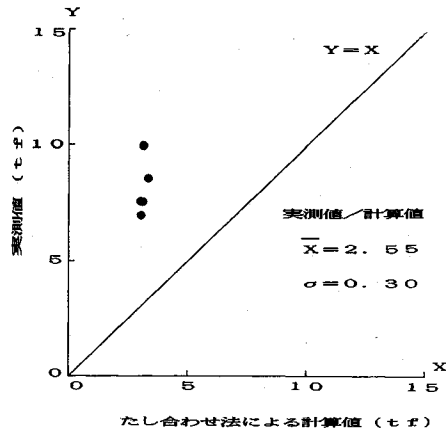


図-17 足し合わせ法によるひびわれ荷重の計算値と実測値の比較

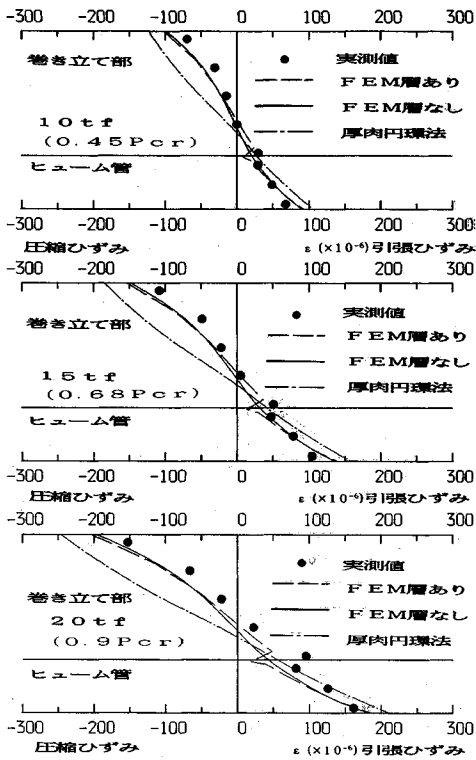
性係数は弾性材料として弾性係数とポアソン比より算出した。ヒューム管と巻立て部の境界については、ヒューム管と巻立て部の間に付着のない場合を再現するため、巻立て部の境界部を仮想的な物質で置き換える方法を採用した。具体的には 5 mm の層を 2 層計 10 mm とし、その要素の弾性係数・せん断弾性係数は巻立て部コンクリートの 1/5 の値とし、ポアソン比は 0.18 とした。なお、この 2 層の両側に 5 mm の層を各 1 層ずつとり、ヒューム管あるいは巻立て部と同一の物性とした。また境界部の層の物性を巻立て部と同一の値とする場合の計算も行い比較した。

e) ヒューム管の曲げ強度

ひびわれ強度算出には、ヒューム管の曲げ強度が必要となる。ヒューム管単体の試験によるひびわれ強度から、薄肉円環法を適用して、ヒューム管の曲げ強度を求めた。その結果を表-4に示す。ヒューム管には、膨張材によるケミカルプレストレスが導入されているので、この曲げ強度は、ケミカルプレストレスとコンクリートの曲げ強度との合計値である。

(2) 足し合わせ法による巻立て管の解析

図-17に、足し合わせ法によるひびわれ荷重と巻立



図一八 ひずみ分布の実測値と計算値の比較 (1000φ巻立て管)

て管のひびわれ荷重との比較を示す。傾きが45度の直線は、計算値と実測値が等しいことを示す直線である。ひびわれ荷重をプロットすると、すべての点がこの直線よりも上側に存在して、足し合わせ法による計算値は実測値よりもはるかに小さく、実測値と計算値の比は2.55、標準偏差0.30であった。

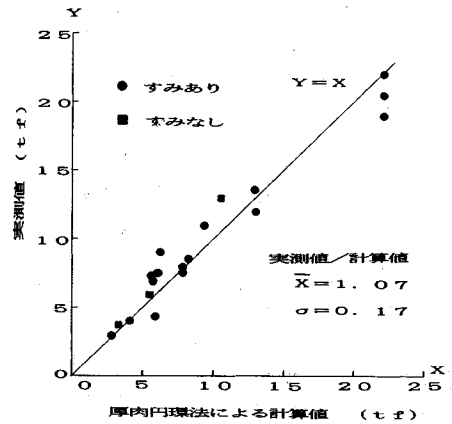
(3) 厚肉管の解析

上記より、巻立て部とヒューム管が一体となって外力に抵抗するものとして考えられることがわかった。厚肉・薄肉円環法を巻立て管に適用するには、断面が合成部材であるので複雑である。このことからまず厚肉管について厚肉・薄肉円環法の妥当性を検討した。

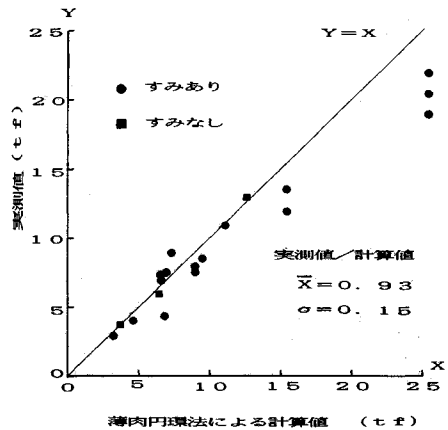
図一三には、厚肉円環法と薄肉円環法による計算値が示されている。実測値と計算値は、いずれの計算方法としても実用的には、一致しているといつてよいものと思われる。R/hは1.95~3.55であるので、厚肉円環と考えるのが妥当であるが、試験のばらつきを考えると、どちらの計算方法がより適合性がよいともいえない。

(4) ヒューム管と巻立て部との一体性

(2)で示したように巻立て管は、巻立て部とヒューム管が個々に荷重に抵抗するのではなく、両者が一体として外力に抵抗することが示された。どの程度一体なのかを検討するため、試験体端部におけるひずみ分布を計



図一九 厚肉円環法によるひびわれ荷重の計算値と実測値の比較



図二〇 薄肉円環法によるひびわれ荷重の計算値と実測値の比較

測した。

図一八に呼び径1000mmのヒューム管を用いた巻立て管について、10tf、15tfおよび20tfにおいて、ひずみ分布の実測値と厚肉円環法による計算値およびFEM法による計算値との比較を示す。実測値は、巻立て部とヒューム管との境界でひずみが異なっており、やはり両者は完全に一体とはいえないことがわかる。しかし、ひずみの差は大きくなく、ヒューム管のひずみはすべて引張ひずみとなっている。

巻立て部とヒューム管との間に変形のしやすい薄層があるものとしたFEM法によると、実測値と同じように、境界部におけるひずみのずれが再現できている。FEM法と厚肉円環法による計算では圧縮縁・引張縁のひずみはほぼ一致している。また、変形しやすい薄層を設けない場合のFEMの計算値は、厚肉円環法による値とほぼ一致した。

このようにヒューム管と巻立て部とは、その境界にお



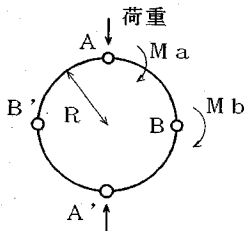


図-21 終局荷重におけるヒンジ

いてひずみに差があり、両者は完全には一体とはいえないものの、①ヒューム管が外側の巻立て部により拘束されていることおよび両者の摩擦等によるせん断力の伝達によりひずみの差は大きくないこと、②両者一体とした計算値と圧縮縁、引張縁ではひずみが一致すること、から考えてひびわれ荷重の計算においては両者一体であると考えて良いものと思われる。

(5) すみなし巻立て管および巻立て管の解析

(3) における厚肉管の検討から厚肉管のひずみの計算には厚肉円環法および薄肉円環法を用いることができることを示した。また、3.(5) においてひびわれ荷重、終局荷重についてはすみの有無の影響のないことを実験的に確認した。

図-11 のすみなし巻立て管の荷重ひずみ図における計算値は、厚肉円環法および薄肉円環法によるものである。図-11 より、実測値と計算値は実用的に一致しているといつてよいものと思う。

巻立てヒューム管についてもこれらの方法の適用性を検討した。図-4 の計算値は、厚肉円環法および薄肉円環法による計算結果を示す。巻立てヒューム管においても両者の方法によるひずみの計算値は、引張縁・圧縮縁ともに実測値と計算値はよく一致していることがわかる。

図-19 および図-20 は厚肉円環法および薄肉円環法によるひびわれ荷重の計算値と実測値の比較を行ったものである。この場合も計算値と実測値は、よく一致することがわかる。厚肉円環法の場合、計算値と実測値の比は1.07、標準偏差0.17であり、薄肉円環法の場合はそれぞれ0.93、0.15であった。

以上のことから上下部中央から線荷重が作用するときの巻立てヒューム管およびすみなし巻立てヒューム管についても巻立て部とヒューム管とが一体であるとして厚肉円環法およびその略算法としての薄肉円環法により、ひびわれに至るまでの荷重ひずみ関係およびひびわれ荷重を求めることができることが示された。

5. 終局荷重の計算方法

ヒューム管と巻立て部が一体となって外力に抵抗するものとし、また、終局時には上下部および左右部におい

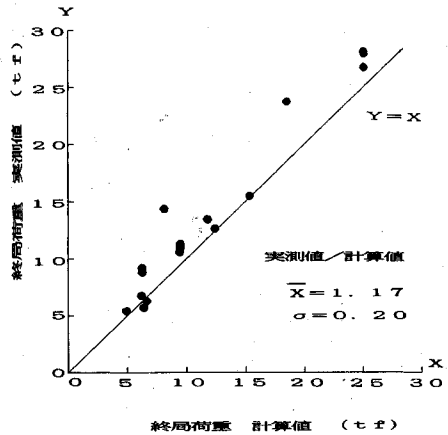


図-22 終局荷重の計算値と実測値の比較

て(図-21 における A, A', B, B' 点), ヒンジとなるものと考え、終局荷重を求め、実測値と比較した。

(1) 計算方法

図-21 のように荷重が作用するとき、上下部においては、巻立て部外面が圧縮縁となり、逆に、左右部においては、ヒューム管内面が圧縮縁となる。したがって、上下部においては、巻立て部のコンクリートとヒューム管の鉄筋とから断面が構成されるものと考え、左右部においては、ヒューム管のコンクリートと巻立て部の鉄筋から断面が構成されるものと考えて、曲げ強さを求めた。なお、鉄筋量はつり合い鉄筋比以下であり、断面の終局曲げモーメントは、鉄筋が降伏するものとして求めた。図-21 において、A 点の終局曲げモーメントを \$M\_a\$ とし、B 点の終局曲げモーメントを \$M\_b\$ とすると、終局荷重 \$P\_u\$ は、

$$P_u = \frac{2}{R} \cdot (M_a + M_b) \dots \dots \dots (10)$$

となる。

したがって、A 点、B 点における終局曲げモーメントを算出し式 (10) に代入することで、終局荷重を求めることができる。

(2) 計算値と実測値との比較

図-22 に終局荷重の計算値と実測値との関係を示した。図より実測値は計算値と同等か少し大きいことがわかる。実測値と計算値の比は平均1.17、標準偏差0.17であった。必ずしも一致しているとはいえないが、終局荷重を推定するには、良い方法であるといえる。

6. 結 論

ヒューム管の周囲を鉄筋コンクリートで巻き立てた、巻立て管の鉛直中心軸に、上下より線荷重が作用する際の力学的性状に関する実験・解析を行った。本研究より、線荷重を受ける巻立て管の力学的性状について次のこと

がいえよう。

(1) ヒューム管の強度が大きいほど、また巻立て厚さが大きいほど巻立てヒューム管のひびわれ荷重・終局荷重は増大する。

(2) 巻立て部の鉄筋量が多いほど終局荷重は増大する。ひびわれ荷重については、顕著な影響はない。

(3) ひびわれ荷重の10～60%および80～90%では10回ずつ、70%では100回の繰返し試験を行った。60%までは、繰返しによる引張りひずみの増加量はほとんどないことおよび70%、100回の繰返しを行ってもひびわれの生じないことが確認された。

(4) 巻立て部すみの有無によるひびわれ・終局荷重への影響はみられない。

(5) ヒューム管と巻立て部コンクリートとは、それらの境界部において、ずれが生じているものの、ひびわれ荷重までのずれは、実用的には無視できる。このことは、ヒューム管と巻立て部との間に変形しやすい層を設けた有限要素法による解析からも確認された。このように見掛けの付着が生じるのは、ヒューム管が巻立て部により、拘束されているためと考えられる。

(6) 巻立て管のひびわれ荷重は、ヒューム管と巻立て部とが一体であるとして、両者の弾性係数の相違を考慮して、厚肉円環として解くことにより、荷重が作用するときのひずみあるいはひびわれ荷重を計算できる。また、薄肉円環で解くことによってもほぼ同様の値を導くことができ簡略法として採用できる。

(7) 終局荷重は、鉛直方向、水平方向の中心軸と巻

立てヒューム管との交点にヒンジが形成されるとし、各ヒンジのモーメントをその断面の終局値とする計算方法によりほぼ推定することができる。

謝 辞：本研究は、全国ヒューム管協会の委託試験として行ったものである。打ち合わせ、試験用ヒューム管の製作、呼び径1000mmのヒューム管を用いる場合の試験については、協会の担当者のご協力を頂いた。また、本学における実験には、卒業研究生である、山路哲生、我妻康一、竹内久則氏の協力を頂いた。記して、心からなる謝意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 西村 昭・大畑定夫・天羽豊治：180°基礎を有する遠心力鉄筋コンクリート管の強度について、下水道協会誌，Vol.3, No.23, pp.21～27, 1966年4月。
- 2) 東田 淳・堀田清美・篠崎 亘・三笠正人：遠心力鉄筋コンクリート管（コンクリート支承）に加わる土圧と管の強度について、土木学会論文報告集，No.310, pp.97～112, 1981年6月。
- 3) 村田恒雄・埴原 強・山田清臣：開削工法による剛性埋設管の基礎についての一考察，下水道協会誌，Vol.25, No.290, pp.22～31, 1988年7月。
- 4) ヒューム管設計施工要覧，全国ヒューム管協会，pp.80～88, 1980年。
- 5) 岩松幸雄・松尾光弘・工藤真之助：擁壁及びカルバートの設計と考え方，鹿島出版会，pp.201～208, 1977年。
- 6) Timoshenko, S. (北畠顕正ほか訳)：材料力学 下巻(改訂第二版)，コロナ社，pp.44～63, 1952年。

(1990.11.16 受付)

## MECHANICAL BEHAVIOR OF HUME PIPES COVERED WITH REINFORCED CONCRETE

Kimio FUKUZAWA, Tatsuya NUMAO,  
Sachio IWAMATSU and Yoshiki HIRANO

This paper describes the mechanical behavior of Hume pipes covered with reinforced concrete when they are loaded vertically at the center of the upper and lower sides. Experiments were performed to observe influences of following factors, (1) thickness of the cover concrete and strength of Hume pipes, (2) steel amount in the cover concrete, (3) diameter of Hume pipes, (4) loading method (gradually increased loading and repeated loading), (5) shape of the cover concrete (square and circular). Tests on thick circular ring of concrete were also performed. The analyses on cracking and ultimate strength were found to give reasonably accurate predictions of measured cracking and ultimate strength.