

中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ性状に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE FLEXURAL BEHAVIOR OF
HOLLOW STEEL-PIPE-CONCRETE COMPOSITE MEMBERS

松本嘉司*・福沢公夫**

By Yoshiji MATSUMOTO and Kimio FUKUZAWA

1. 緒論

地震時において、鉄筋コンクリート部材が破壊するのは、その塑性変形能力が小さく、粘りがないからだといわれている。わが国のような地震国においては、構造物の耐震性を高めることは、きわめて大切なことで、そのためには、構造部材として大量に用いられているコンクリート部材についても、その変形能力を改善することが重要になってくる。この鉄筋コンクリート部材の破壊性状については、これまでかなりの研究成果が発表されているが、その粘りの小さいのは、主として、コンクリートのせい性に起因するものであると考えられている。たとえば、通常の鉄筋コンクリート部材に、外から曲げモーメントを加えていくと、まず引張側の鉄筋が降伏し、圧縮側のコンクリートがその圧縮変形の限界値に達して破壊する場合がほとんどである。また、地震時において鉄筋コンクリート部材が破壊するのは、地震時水平力によって大きな曲げを受け、圧縮側のコンクリートが破壊して脱落するために崩壊するといった事例が多い。したがって、圧縮側コンクリートの塑性変形能力を大きくすることは、鉄筋コンクリート部材の全体としての粘りを大きくし、構造物の破壊性状を改善する最大の要因であるといつてよい。

钢管の中にコンクリートを充填して構成された中実钢管コンクリート合成部材は、その圧縮側のコンクリートが钢管によって、完全に拘束されているから、上述の変形性状が大幅に改善されることは明らかであり、このことは、実験的にもすでに実証されている^{1)~6)}。最近、钢管の内側に、遠心力によってコンクリートを内張した中空钢管コンクリート合成部材が、工場製品として市販されてきているが、これも钢管とコンクリートとの合成部

材の一種であり、この場合もコンクリートは钢管によって拘束されているから、その塑性変形性状は、中実钢管コンクリート合成部材と類似の性状をもつものと考えられる。しかしながら、遠心成形を行った中空钢管コンクリート合成部材は、構造部材として新しい形式のものであるだけに、これに対しての実験的および理論的研究が少なく^{7)~9)}、したがってこの種構造部材を設計し、その適用方法を定めていくためには、いくつかの問題点を解決する必要がある。

この種部材は、地震時の水平力による曲げモーメントの大きい構造物に使用されることが多いものと考えられる。たとえば、橋脚等のフーチングのくいとして用いられる場合であり、地震時等に水平力が作用すると、引張側にある部材は、軸力はほとんどなく、主として曲げモーメントのみが作用する。そして、この部材によって断面が決定されるのが一般的である。したがって、多くの問題点の中でも特に、曲げモーメントに対する変形性状を明らかにしておくことが、きわめて大切なことであると思われる。

本論文は、钢管の内側にコンクリートを遠心力によって内張した中空钢管コンクリート合成部材に静的な荷重を加えるときの曲げ性状について実験的に研究を行ったもので、中空钢管コンクリート合成部材を構成するための要因を明らかにするとともに、実験結果に基づいて、この種部材が曲げモーメントを受ける場合の応力状態および変形性状を明らかにし、さらにその設計方法および曲げ破壊耐力の算定方法について1つの提案を試みたものである。

本研究を行うにあたり、多大の協力をいただいた日本コンクリート工業(株)技術部研究室の諸氏、特に清田章二氏に深く感謝する次第である。

2. 試験の概要と試験体の製作

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 日本コンクリート工業(株)技術部研究室

本研究は遠心力締固めによって製作された中空鋼管コンクリート合成部材を中心に実験的に研究を行ったものであるが、その内容を大別すると次のようになる。

(1) 中実鋼管コンクリート合成部材および遠心力締固めを行ったプレストレストコンクリート円筒部材との比較試験

(2) 鋼管とコンクリートの付着効果についての比較試験

(3) 鋼管およびコンクリートの厚さを検討するための試験

(4) 曲げモーメントが作用するときの応力度および曲げ破壊耐力の算定方法についての考察

第1の比較試験は、中空鋼管コンクリート合成部材、中実鋼管コンクリート合成部材および一般に広く用いられている遠心力締固めを行ったプレストレストコンクリート円筒部材についてその曲げ性状を比較して、その相互の得失を明らかにすることを試みたものである。

第2の比較試験は、中空鋼管コンクリート合成部材について、鋼管とコンクリートとの付着強度がその曲げ性状にどのように寄与するかを確かめる目的で行ったもので、鋼管の内面に突起をつけて付着強度を高めたもの、逆にここにパラフィンを塗って付着をなくしたもの、およびコンクリートに膨張材を用いてケミカルプレストレスを導入したもの等について比較実験を行ったものである。

第3の実験は、中空鋼管コンクリート合成部材において、内張コンクリートの厚さあるいは使用する鋼管の厚さが中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ変形性状および曲げ破壊耐力にどのように寄与するかを確かめる目的で行ったものである。

第4は、以上の実験結果に基づいて中空鋼管コンクリート合成部材に曲げモーメントが作用するときの応力、たわみおよび曲げ破壊耐力の解析方法および部材の応力算定方法についての検討を行ったものである。

曲げ試験に用いた部材は、長さ 4 m および 6 m、直径 30~60 cm の中空鋼管コンクリート合成部材で、これをそれぞれスパン 3.6 m および 5.4 m で支え、中央部より載荷点間距離 1 m の 2 点集中荷重を加えて曲げ試験を行った。

これらの試験体は、図-1 に示すように現在工場製品に用いられている方法によって製作した。すなわち、中空鋼管コンクリート合成部材は、2 つ割りの型枠の中に鋼管を固定し、その鋼管の内側にコンクリートを投入

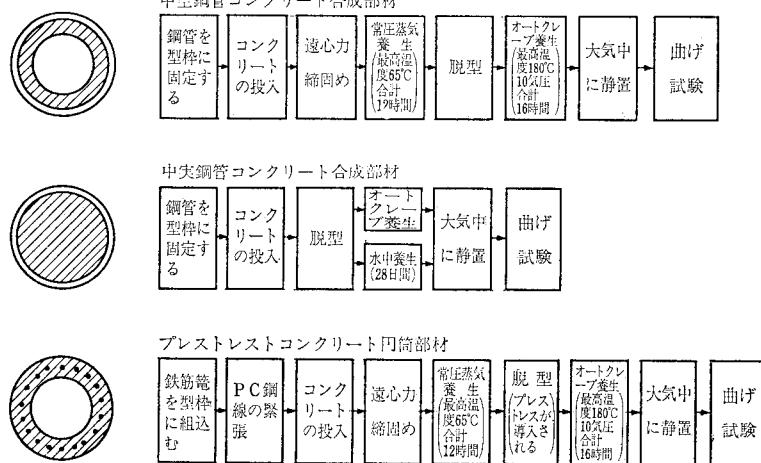


図-1 試験体の製作方法

し、遠心力締固めを行って鋼管にコンクリートを内張する。その後、最高温度 65°C の常圧蒸気養生を、昇温および下降を含めて 12 時間行い、取り扱い上必要な強度を得たうえで中空鋼管コンクリート合成部材を脱型する。脱型された部材は、最高温度 180°C、圧力 10 気圧のオートクレーブ養生を、昇温および下降を含めて 16 時間行う。このようにして得られたコンクリートの圧縮強度は、約 1000 kg/cm² であった。比較に用いた中実鋼管コンクリート合成部材は、鋼管を縦置きしてその中にコンクリートを充填し、2 日間静置して取り扱いできる強度に達した後 28 日間の水中養生、または中空鋼管コンクリート合成部材の場合と同一の方法でオートクレーブ養生を行って製作した。この場合のコンクリートの強度はオートクレーブ養生を行ったものは約 800 kg/cm²、水中養生を行ったものは、材令 28 日において約 400 kg/cm² であった。

鋼管とコンクリートとの合成部材と比較する目的で作られたプレストレストコンクリート円筒部材の試験体は、P C 鋼材を緊張して配置した円筒の型枠の中にコンクリートを投入し、遠心力で成形した後常圧蒸気養生を行い、型枠をはずしてプレストレスを導入してから、オートクレーブ養生を行って製作したもので、一般的のプレストレストコンクリート製品と同じ製作方法を用いて作られた高強度コンクリート（圧縮強度 1000 kg/cm²）のものである。

実験に用いた鋼管は、熱間圧延鋼材を曲げ加工し溶接して製作されたもので、外径 30~60 cm、実測肉厚 1.4~7.0 mm および長さ 4~6 m のものである。曲げ試験後に荷重作用の影響の少ない部分から切り出した試験片による試験結果は、平均値で降伏点 33.3 kg/cm²、引張強度 43.6 kg/mm² および伸び 38.7% であった。プレ

表-1 コンクリートの示方配合および試験結果

配合の種類	締固め	養生	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプの範囲(cm)	水結合材比(%)	細骨材率(%)	混和剤(結合材) (kg/m³) × %	水(kg/m³)	結合材*(kg/m³)	セメント(kg/m³)	膨張材(kg/m³)	圧縮強度(kg/cm²)	ヤング係数 × 10³(kg/cm²)	曲げ強度(kg/cm²)
高強度コンクリート 遠心力	振動	オートクレーブ養生	20	13±2.5	30.7	42.0	1.5	132	430	404	26	823	3.20	70
												1 042 平均	4.27 平均	92 88 平均
普通強度コンクリート 遠心力	振動	水中養生	20	10±2.5	64.6	46.0	0.7	168	260	260 244	0 16	426 458	3.20 2.80	39 53

* 結合材はセメントと膨張材との和を示す。

表-2 膨張材の化学組成、比重および比表面積の測定例

比重	比表面積 (cm²/g)	化 学 成 分							合計
		強熱減量 (G. loss)	二酸化けい素 (SiO₂)	酸化アルミニウム (Al₂O₃)	酸化第二鉄 (Fe₂O₃)	酸化カルシウム (CaO)	酸化マグネシウム (MgO)	三酸化イオウ (SO₃)	
3.14	3500	0.4	7.2	2.3	1.3	69.2	0.7	18.6	99.7

ストレストコンクリート部材に用いられたP C鋼線は、0.2%耐力 148 kg/mm²、引張強度 165 kg/mm²および伸び 7.0%のものである。

コンクリートは、表-1 に示すように普通ポルトランドセメントを用いオートクレーブ養生を行った高強度コンクリートと、水中養生を行った普通強度コンクリートの2種類である。試験体の製作に用いた粗骨材は、茨城県岩瀬産の硬質砂岩からなる山碎石であり、細骨材は鬼怒川の旧河敷より採取される陸砂である。混和剤はβスルホン酸ナトリウムを主成分とするものである。また、実験ではコンクリートと鋼管との付着強度を増すことを考えて、酸化カルシウムを主成分とする膨張材を用いたものもある。その成分分析結果は、表-2 のとおりであり、これをセメントに置き換えてセメント量の6%を使用した。コンクリートの圧縮強度は、表-1 に示すとおりであり、膨張材の有無により応力ひずみの関係および圧縮強度には差はほとんど認められなかった。なお、遠心力締固めを行うコンクリートは、JIS A 1136による直径 20 cm、高さ 30 cm、厚さ 4 cm の円筒形供試体により、振動締固めを行う場合は、JIS A 1132による直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱供試体によって、圧縮強度を試験した。膨張材を用いたコンクリートはオートクレーブ養生中に急激な膨張を起こしコンクリートにひびわれが生じるので、ここでは型枠のままオートクレーブ養生を行ってその後に脱型したものの試験値である。

また、試験に用いたコンクリートについて直径 20 cm、長さ 1.2 m の供試体を作り、曲げ試験を行ってそれぞれ曲げ特性について調べてみた。図-2 はこの供試体による曲げ応力と曲げ引張ひずみとの関係を示した試験結果の一例であるが、曲げを受ける場合もコンクリートの性状は、膨張材を用いたものと用いないものとの差は認められなかった。

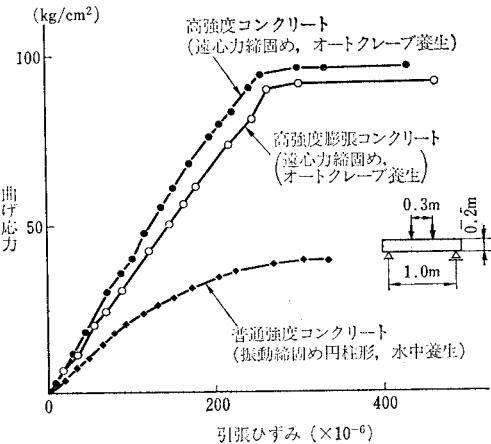


図-2 コンクリートが曲げを受けるときの応力と引張ひずみの関係の一例

められなかった。

試験体の曲げ試験においては、①スパン中央点のたわみ、②鋼管表面のひずみ、③試験体端部における鋼管とコンクリートのずれを測定した。変位量が5~7 cm程度までは摺動抵抗型の変位計を、変位量がそれを超える場合は錘を下げ、その移動量を物差しにより測定した。ひずみの測定には、10%までの引張ひずみまで測定可能な塑性域ゲージを用いた。

3. 中実鋼管コンクリート合成部材およびプレストレスコンクリート円筒部材との比較試験

中空鋼管コンクリート合成部材と中実鋼管コンクリート合成部材およびプレストレスコンクリート円筒部材の曲げ性状の比較を行うため、直径 30 cm、肉厚 32 mm

の鋼管に 1000 kg/cm^2 (オートクレーブ養生) および 400 kg/cm^2 (水中養生) のコンクリートを 6 cm 厚に遠心力によって内張した部材 I, II および鋼管に $800 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (オートクレーブ養生) と $400 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (水中養生) のコンクリートを中埋めした中実鋼管コンクリート合成部材 III, IV とについて曲げ試験を行った。次に直径 7 mm の PC 鋼線を 6 本あるいは 16 本を用いて $40 \text{ kg}/\text{cm}^2$ あるいは $100 \text{ kg}/\text{cm}^2$ のプレストレスを導入した直径 30 cm , コンクリートの厚さ 6 cm のオートクレーブ養生を行ったプレストレストコンクリート円筒部材 V, VI について比較試験を行った。

試験結果をスパン中央点のたわみおよび部材表面のひずみを荷重または曲げモーメントによって整理すると、図-3 および図-4 のようになる。これらの図から明らかなように、鋼管とコンクリートとの合成部材は遠心成形されたものも、またコンクリートを中埋めして作られたものも、いずれも大きな塑性変形能力をもっている。

プレストレストコンクリート部材の試験体においては、その圧縮側コンクリートのひずみが $2000 \sim 3000 \times 10^{-6}$ 程度で圧壊し、そのコンクリートが剥落してその後の荷重が大きく低下するが、鋼管とコンクリートの合成部材の試験体は鋼管の圧縮縁ひずみが 20000×10^{-6} に達してもまだ変形能力をもっている。この場合には、変形が大きくなり支持点が外側に飛び出す恐があるため、スパン中央点のたわみが、約 25 cm のときに載荷を中止した。したがって、その状態で部材は破壊したわけではない。中実鋼管コンクリート合成部材と中空鋼管コンクリート合成部材との間には、この試験の範囲ではその塑性変形能力に大きな差は認められなかった。これは、中空鋼管コンクリート合成部材においては鋼管がその内側の部分のコンクリートの変形を拘束するところが大きいためであり、内部のコンクリートもコンクリートのアーチ作用によって内側に剥落することがないためであると考えられる。

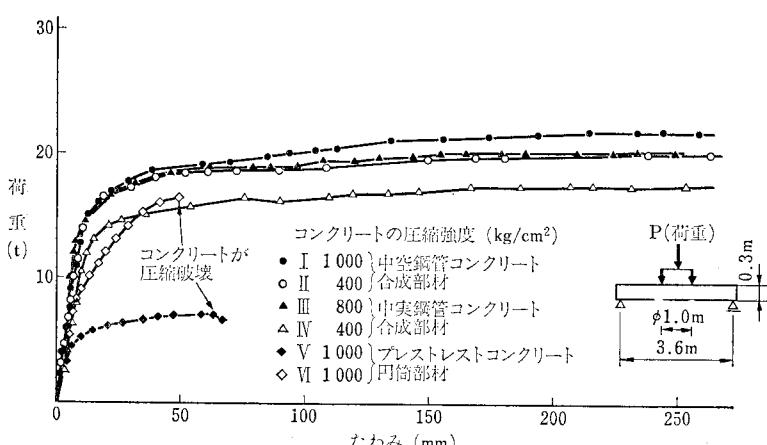


図-3 各種部材の荷重とスパン中央点のたわみとの関係

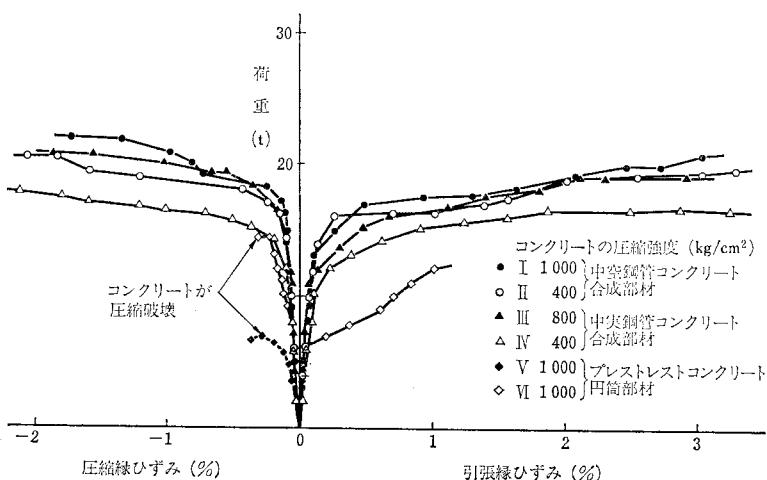


図-4 各種部材の荷重とひずみの関係

実験に用いた試験体を曲げ試験後切断して、その内部の状態を観察したが、その結果は写真-1 および写真-2 のように、鋼管とコンクリートとの合成部材は遠心成形されたものも充填されたものも、ひびわれは非常に細かく $2 \sim 5 \text{ cm}$ 間隔に分布していた。これに反して、プレストレストコンクリート円筒部材のひびわれ間隔は、鉄筋比の小さいものもあって $10 \sim 20 \text{ cm}$ であった。鋼管とコンクリートとの合成部材はコンクリートと鋼管との付着力が大きく、また鉄筋コンクリート部材を考えたときの鉄筋比も大きくなるので、ひびわれ間隔が小さくなつたものと考えられる。このように、試験の範囲では遠心成形による中空鋼管コンクリート合成部材とコンクリートを充填した中実鋼管コンクリート合成部材との差が図にはほとんど現れず、いずれも大きな塑性変形能力をもっている。しかし、この後で鋼管の厚さとコンクリートの厚さとを変えて実験を行ったが、その結果によれば内張コンクリートの肉厚が薄いものは、荷重の

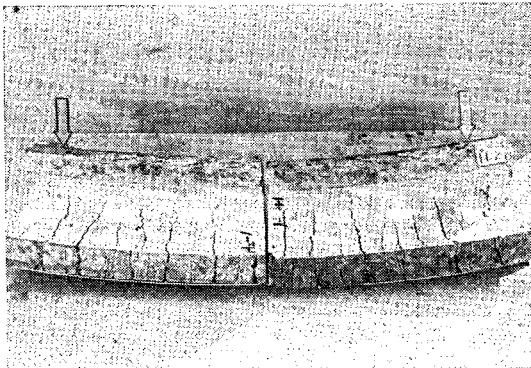


写真-1 中空钢管コンクリート合成部材の曲げ試験後の縦断面(部材I)

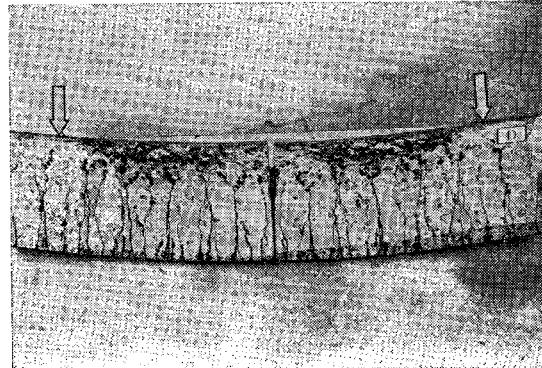


写真-2 中実钢管コンクリート合成部材の曲げ試験後の縦断面(部材III)

増加とともにコンクリートが内側に剥落する場合も起こっており、中空钢管コンクリート合成部材を用いる場合にはコンクリートの厚さおよび钢管の厚さとの関係に十分に注意することが必要である。

4. 鋼管とコンクリートの付着効果についての比較試験

コンクリートと钢管とが一体となって作用するためには、コンクリートと钢管との間の付着が十分であることが必要である。このためには、コンクリートと钢管との隙間を小さくし、かつ両者の摩擦抵抗を増大させるための特殊な方法を適用するといったことが考えられる。それがどの程度必要とするかは明らかにされていなかったので、コンクリートと钢管の付着の状態を次の3種類に変えて、膨張材を用いないコンクリートを内張した中空钢管コンクリート合成部材との曲げ性状の比較試験を行った。

(1) 钢管の内側にパラフィンを2~3mmの厚さに塗り、コンクリートと钢管との間に付着が生じないようにしたもの

(2) 膨張材を使用したコンクリートを用いてコンクリートにプレストレスを与えたもの

(3) 縞鋼板の縞模様を内側にして製作した钢管を用いてさらに膨張材を混入したコンクリートによりプレストレスを与えたもの

第1の実験は、直径30cmの钢管の内側にパラフィンを2~3mmの厚さで塗布し、その後コンクリートを投入して遠心力締固めを行い、常圧蒸気養生およびオートクレーブ養生を行ったものである。

使用したパラフィンの融点は40°Cであり、常圧蒸気養生中およびオートクレーブ養生中にそれらは溶け出でるのでコンクリートと钢管の間の付着は失われているものと思われる。これと、钢管の内側になんらの処理も行わず、コンクリートを遠心力で内張した中空钢管コンクリート合成部材とを比較したものである。図-5は、荷重とスパン中央点のたわみとの関係を示したものであるが、これより明らかなように、パラフィンを塗布したものは、部材の曲げ剛性、曲げ破壊耐力および変形能力が塗布しないものに比べて著しく劣っていた(なお、本論文における曲げ破壊耐力とは、曲げ試験で得られた最大曲げモーメントのことである)。試験体の端部における钢管とコンクリートとのすれば、パラフィンを塗布しない場合は、曲げ試験を行っている間まったく生じなかったに比べて、パラフィンを塗布した場合は、内張コンクリートが押し出されてしまい、その結果、钢管に局部座屈が起こった。また、写真-3のように曲げ試験後試験体を切断して内部を観察したところ、曲げスパン内のひびわれは、50cm間隔に2本生じているだけであった。このように、

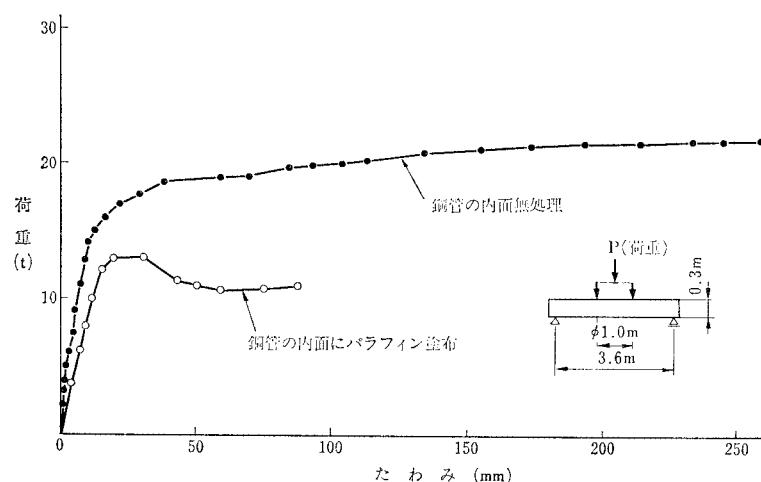


図-5 鋼管の内側にパラフィンを塗布した試験体の荷重とスパン中央点のたわみの関係

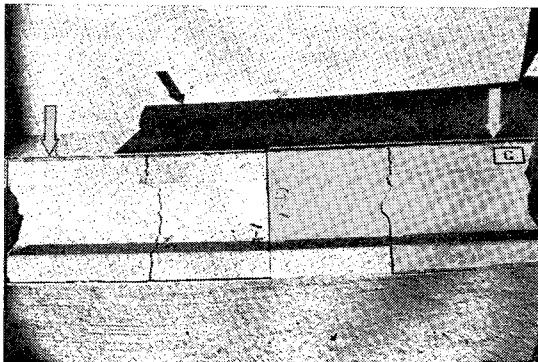


写真-3 鋼管の内側にパラフィンを塗布した中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ試験後の縦断面

コンクリートと钢管の付着力の大小が、中空钢管コンクリート合成部材の剛性、破壊曲げ耐力、変形能力などの曲げ性能に大きく影響を与えることが明らかとなった。

コンクリートが硬化中に膨張すると、コンクリートには圧縮力が、钢管には引張応力が生じ、いわゆるケミカルプレストレスが与えられるので、钢管とコンクリートとの間の機械的な付着力が大きくなると考えられた。そこで第2の実験は、直径30cm、厚さ3.2mmの钢管に遠心力締固め方法によりコンクリートを内張した供試体について、コンクリートに膨張材を用いることの効果を実験的に検討した。

図-6は、この場合の試験体の曲げ試験による荷重とスパン中央点のたわみとの関係を示したものである。この図より明らかなように、膨張材のケミカルプレストレスによっては、この钢管コンクリート合成部材の曲げ性状はほとんど影響を受けないことを示している。この図-6の横軸は、塑性状態を追跡する目的で、たわみの大きな範囲を示したもので、たわみおよびひずみの小さい範囲を示すと、両者についてその差が現れている。これについては、6.で示すことに対するが、マクロ的な意味ではケミカルプレストレスの効果は、ほとんどないといってよ

iv.

第3の実験は、縫鋼板を用いて製作した钢管を使用した中空钢管コンクリート合成部材について比較実験を行ったもので、鋼材の性質を一致させるため、同一の縫鋼板を用いて、縫模様を内側にしたものと外側にしたものの2体製作した。この場合、外側に突起を出した場合には、一般の中空钢管コンクリート合成部材と同じものになる。実験に用いた縫鋼板は、市販されている厚さ3mmのもので、突起は管軸方向に対して45°の角度でつけられており、突起の高さは最大の部分で1.2mmであった。钢管の降伏点は28.2kg/mm²、引張強さは34.0kg/mm²である。また、この場合には、いざれも前述と同じ量の膨張材を用いて、钢管とコンクリートの間にケミカルプレストレスが導入された状態のもとで実験を行った。

図-7は、荷重とスパン中央点のたわみとの関係を示したものである。この図より、縫鋼板の効果は、ほとん

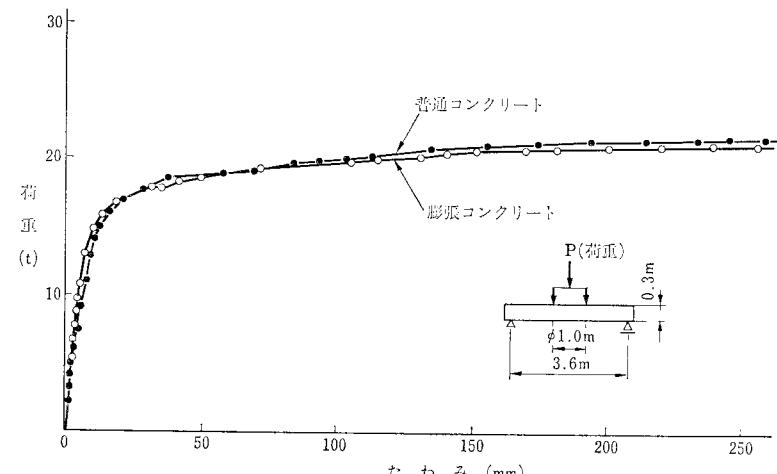


図-6 膨張コンクリートを用いた試験体の荷重とスパン中央点のたわみの関係

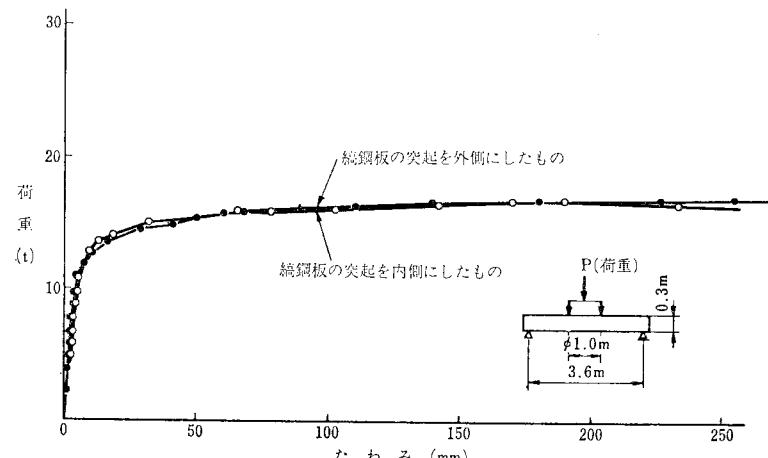


図-7 鋼管の内側に突起のある試験体の荷重とスパン中央点のたわみの関係

ど現れなかった。これらのこととは、钢管の内側に突起を出して付着を増すことをしなくとも、钢管とコンクリートは、十分に大きな付着能力をもっていることを示している。

以上のことより、遠心力締固めを行って钢管の内側にコンクリートを内張した中空钢管コンクリート合成部材において、钢管とコンクリートとが一体として作用するためには、钢管の内面は特に処理を施さず普通のコンクリートを内張すれば十分であることが明らかとなった。

これは、遠心力による締固め効果によるもので、これによって、横断面方向からコンクリートを拘束しているので変形に対して大きな付着強度が生じるためであると考えられる。

5. 鋼管およびコンクリートの厚さを検討するための試験

前章までの実験によって、通常用いられている中空钢管コンクリート合成部材の曲げ性状は、中実钢管コンクリート合成部材と同等であることが明らかになったので、ここではさらに、下記のように内張コンクリートの厚さおよび钢管の肉厚を変化させて、その適用限界を確かめるための実験を行った。

(1) 鋼管の肉厚を 3.2 mm とし、内張りコンクリートの厚さを 2.5 cm, 4 cm および 6 cm としたもの

(2) 内張コンクリートの厚さを 6 cm とし、钢管の厚さを 1.4, 2.3, 3.2, 4.5 および 6.4 mm としたもの

内張コンクリートは、すべて膨張材を使用して、かつオートクレーブ養生を行ったものである。钢管の肉厚を変化させた実験に用いた钢管は、肉厚 3.2 mm の钢管と同じように市販されている熱間圧延鋼材を曲げ加工し、溶接して製作されたものであるが、その降伏点および引張強さは、それぞれ若干異なっている。

内張コンクリートの厚さを変化させた実験の結果について、荷重とスパン中央点のたわみとの関係を図-8に示す。コンクリートの厚さによって部材の断面 2 次モーメントが変化するので、曲線の立ち上がりの部分の勾配は、コンクリートの厚さによって若干異なっており、6 cm とする方が同一荷重に対するたわみはいくぶん小さくなっている。しかし、引張側の钢管が降伏するときの荷重およびその後の変形は主として使用している钢管に

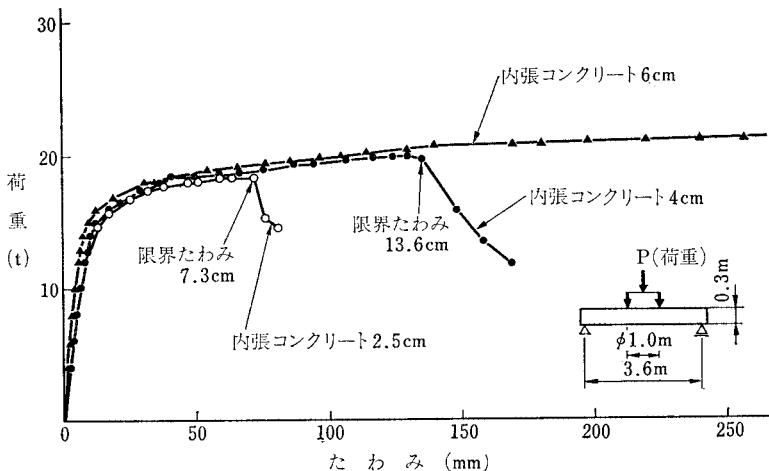


図-8 内張コンクリートの厚さを変化させた試験体の荷重とスパン中央点のたわみの関係

よって決まるので、塑性変形時には、三者の曲線はほとんど差がない結果となっている。次に、曲げ破壊荷重は、内張コンクリートの厚さが 6 cm の場合には、前にも述べたように、たわみが 25 cm となつても異常がない。それに反し、内張コンクリートの厚さが 2.5 cm および 4 cm の場合は、それぞれスパン中央点のたわみが 7.3 cm および 13.6 cm、钢管圧縮縁におけるひずみが 6600×10^{-6} および 8800×10^{-6} のときに荷重が急激に低下して、以後試験機に油を送っても荷重は逆に小さくなり、たわみだけが増加する状態となった。写真-4 は、内張コンクリートの厚さが 2.5 cm の場合の曲げ試験後の縦断面を示したものであるが、スパン中央部の圧縮側のコンクリートが部材の中空部に崩落している様子わかる。このように、中空钢管コンクリート合成部材においては、内張コンクリートの厚さが、その塑性変形性能を支配する大きな要因となっていることがわかった。

次に、钢管の肉厚を変化させる場合の実験結果について、荷重とスパン中央点のたわみの関係を示すと図-9

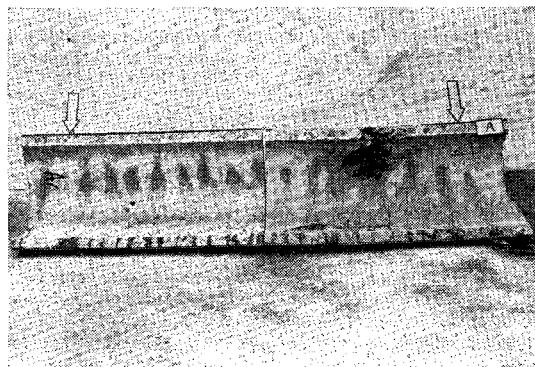


写真-4 内張コンクリートの厚さが 2.5 cm の中空钢管コンクリート合成部材の曲げ試験後の縦断面

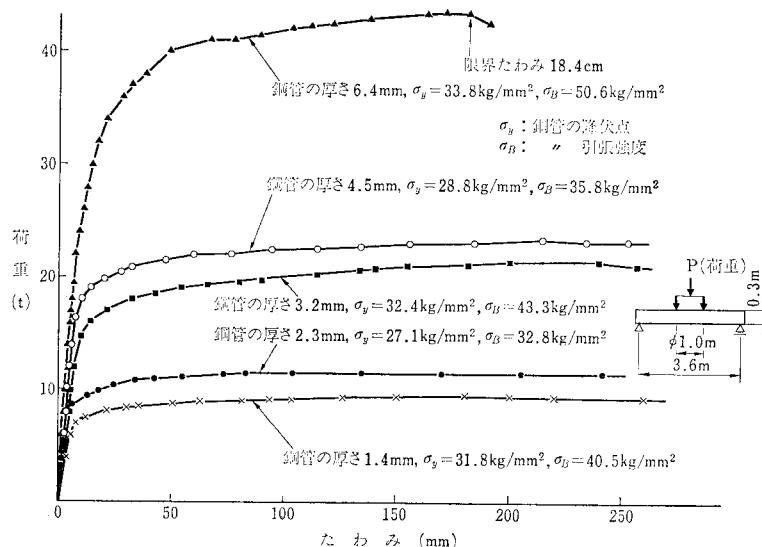


図-9 鋼管の内厚を変化させるときの荷重とスパン中央点のたわみの関係

のようになる。この場合にも、钢管の厚さによって部材断面の断面2次モーメントが変化するので、曲線の立ち上がりの部分の勾配は用いた钢管の厚さによって変化している。また钢管の厚さが厚いものほど曲げ破壊耐力が大きくなる。この場合、钢管の肉厚が1.4, 2.3, 3.2および4.5mmのものは、たわみが25cmとなっても部材には異常がなく、荷重の低下もなく、曲げ破壊荷重は観察されなかったのに対し、钢管の肉厚が6.4mmのものは、たわみが18.4cm、钢管の圧縮縁ひずみが 16000×10^{-6} のときにおいて曲げ破壊荷重を示し、以後荷重は低下した。この試験体の曲げ試験後の縦断面は写真-5のとおりである。この写真より、スパン中央部分の圧縮部におけるコンクリートはどの部分も破壊しており、特に、向かって左側の載荷点より20cmの部分では、コンクリートが内側に崩落しかかっていることがわかる。引張側においては、コンクリートには微細なひびわれが分布しており、コンクリートと钢管との付着性状は、きわ

め良好であることを示している。なお、写真-6は钢管の肉厚が1.4mmの中空钢管コンクリート合成部材の曲げ試験後の縦断面であり、これは試験を行った中では最も钢管の肉厚の薄いものである。この場合には、圧縮部のコンクリートがごく一部分において圧縮破壊しているだけで十分な塑性変形能力をもっている。しかし、引張部のコンクリートに着目してみると、そこにはひびわれが約10cmに1本の割合と、比較的まばらに発生しており、また、そのひびわれ幅が大きく、中には圧縮部に達しているものもある。これ

は、钢管の肉厚が薄いため、钢管面積とコンクリート面積との比(以下、钢管比と略す)が3.0%とこの種部材としては、少ないためであると考えられる。

以上の実験により、中空钢管コンクリート合成部材は、钢管が厚い場合あるいは、内張コンクリートの薄い場合には、その塑性変形能力に限界のあることがわかった。荷重およびたわみに限界のある場合を判定する方法として、塑性変形時における部材の中立軸の位置に着目してみた。すなわち中空钢管コンクリート合成部材が曲げを受けて、圧縮縁のひずみがコンクリートの圧縮破壊ひずみに達した後の中立軸の位置が、圧縮縁から測って内張コンクリートの部分にあれば、破壊したコンクリートは外側には钢管に押さえられ、内側には中立軸より引張側のコンクリートのアーチ作用により押さえられるので、その部材は破壊しない。逆に、中立軸が内張コンクリートの部分の外側、つまり部材の中心から中立軸までの距離が部材の内半径より小さくなれば、破壊したコンクリ

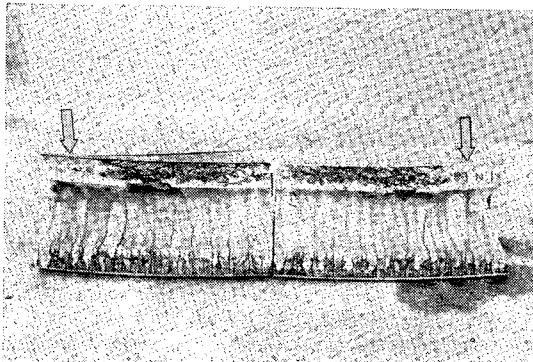


写真-5 鋼管の内厚が6.4mmの中空钢管コンクリート合成部材の曲げ試験後の縦断面

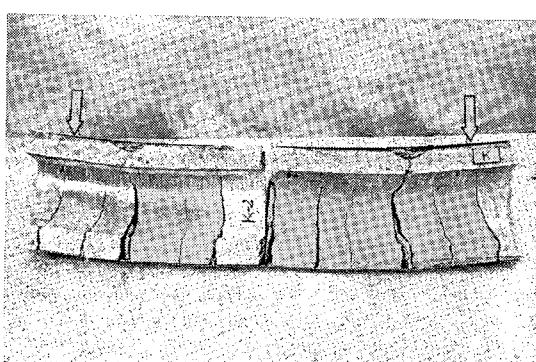


写真-6 鋼管の内厚が1.4mmの中空钢管コンクリート合成部材の曲げ試験後の縦断面

中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ性状に関する実験的研究

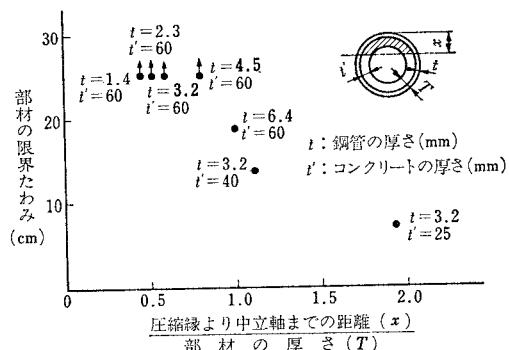


図-10 部材の限界たわみと中立軸の関係

トは、崩落して部材の破壊となるものと考えられる。

このことを確認するために、7.で述べる曲げ破壊耐力に対する計算方法を用いて求めた中立軸の位置と、限界たわみとの関係を示したのが図-10である。この図より、中立軸が部材の壁厚の中にあれば事実上限界たわみは測定されず、中立軸が壁厚の外になればなるほど、限界たわみが小さくなるといった結果になっている。

以上のことより、中空鋼管コンクリート合成部材が、十分な塑性変形能力をもつたために、塑性状態における部材断面の中立軸がコンクリートの厚さの内側に入るよう、鋼管の厚さとコンクリートの厚さとを定めることが必要である。

6. 曲げ応力および変形の計算方法

前章までに、遠心成形された中空鋼管コンクリート合成部材は鋼管とコンクリートとの間に十分な付着強度のあることが明らかとなった。したがってその曲げ性状は鋼管とコンクリートとの合成構造としての理論に基づいて解析できるものと考えられる。以下、実験結果について考察を加えるとともに、中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ応力および変形の計算方法に対する考え方を示すことにする。

曲げ部材は、一般に一軸応力の状態として応力度が計算されているのであるが、中空鋼管コンクリート合成部材についても、このことが成り立つかどうかを確かめるために、鋼管の表

面の軸方向ひずみ ϵ_1 および軸直角方向ひずみ ϵ_2 をワイヤストレインゲージを用いて測定した。図-11はその一例であり、直径30cm、肉厚3.2mmおよび4.1mmの鋼管の内側にコンクリートを6cm内張した中空鋼管コンクリート合成部材の圧縮縁および引張縁において、軸方向ひずみが最も大きいゲージの位置における軸方向ひずみ ϵ_1 とその点における軸直角方向ひずみと軸方向ひずみとの比 ϵ_2/ϵ_1 (以下、ひずみ比と略す)との関係を示したものである。膨張材を用いた試験体の圧縮縁におけるひずみ比は、钢管の肉厚にかかわらず軸方向ひずみが 1500×10^{-6} まで $-0.15 \sim -0.20$ の間にあり、ほぼ一定値を示している。膨張材を用いない場合も、钢管の肉厚が3.2mmの場合に軸方向ひずみが 600×10^{-6} からひずみ比の絶対値が若干増加するような傾向を示しているが、ほぼ同様の傾向を示し、ひずみ比は0.2前後の一定値になっている。コンクリートの供試体から測定されたポアソン比の平均値が0.19、钢管の試験片から得られたポアソン比が0.28であるから、部材圧縮縁のひずみ比の絶対値は、コンクリートのポアソン比に近い値であり、钢管が横方向に広がるのをコンクリートが阻止していることを表すものであり、コンクリートと钢管との間に十分な付着のあることを示している。

引張縁においては、膨張材を用いないものは軸方向ひずみが増加してもひずみ比は $-0.15 \sim -0.20$ の間にあり、ほぼ一定値を示した。膨張材を用いた場合は、軸方

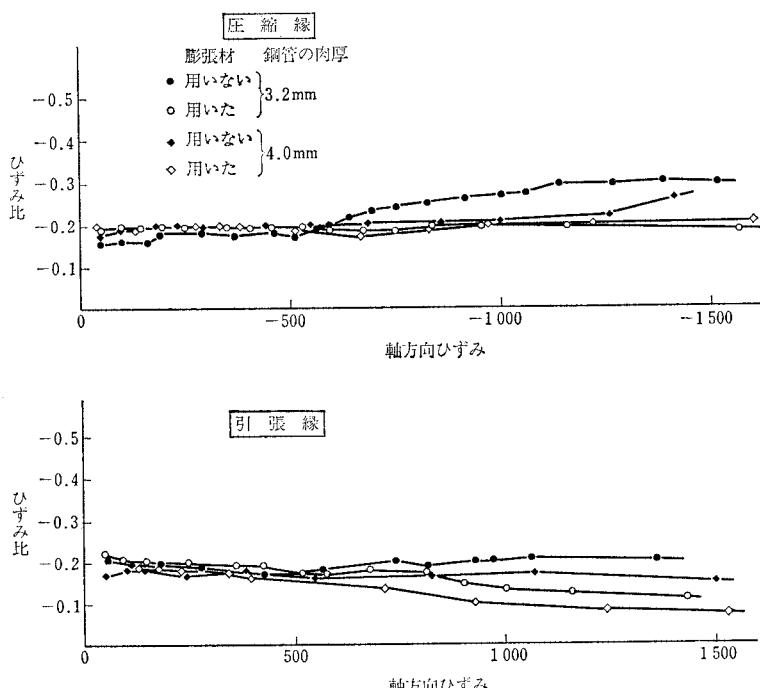


図-11 ひずみ比と軸方向ひずみの関係

向ひずみが 900×10^{-6} を超えるとひずみ比の絶対値は徐々に小さくなり、軸方向ひずみが 1500×10^{-6} で 0.1 であった。これは、膨張材を用いているため鋼管にはあらかじめ引張応力が生じており、膨張材を用いない場合よりも鋼管の降伏するみかけの軸方向ひずみは小さい、钢管が降伏すると、軸方向の引張ひずみは急激に増加するが、横断面方向には、内張コンクリートにより拘束されているので、その変形量が小さく、結果としてひずみ比の絶対値が小さくなるのである。

以上の検討の結果、上下縁のひずみ比は、-0.20 前後の値を示していた。軸方向応力 σ_1 の一般の算定式は式(1)で表せる。

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \nu) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

وَرَبِّكَ

E : 材料のヤング係数

レ：材料のポアソン比

式(1)に鋼管のポアソン比として試験片の引張試験から得られた 0.28 を用い、鋼管の軸方向応力 σ_1 を求めると、ひずみ比が -0.2 の場合は一軸応力状態と仮定する場合と比較して、2% 異なるだけである。このことから、鋼管の応力は、圧縮縁においても引張縁においても一軸応力状態として求めてよいものと思われる。

次に、断面内のひずみ分布について考察する。直径30 cm、肉厚 3.2 mm の鋼管にコンクリートを 6 cm 内張した試験体において、スパン中央断面のひずみ分布を示したものが 図-12 である。図中の●印が測定値であり、この図よりひずみ分布はほぼ直線的であり、緯ひずみは断面の中立軸からの距離に比例していることがわかる。また、中立軸の位置は曲げモーメントが増加とともに、部材の中央から上方に移動しているが、引張縁のコンクリートにひびわれが生じたためと考えられ、上方に移動した後は一定の位置にある。

上述のような実験結果に対する考察によって、中空鋼管コンクリート合成部材は、一般の鉄筋コンクリートは

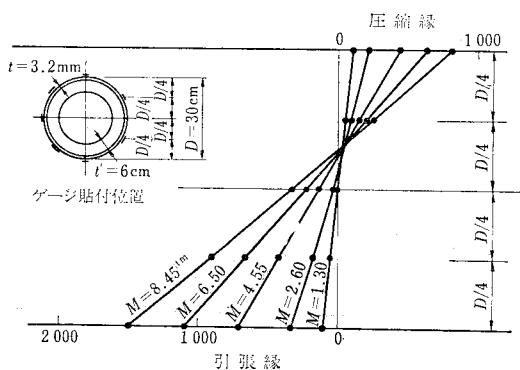


図-12 ひずみ分布図の一例

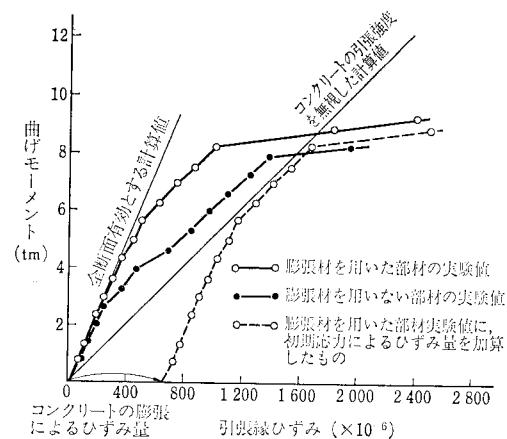


図-13 中空钢管コンクリート合成部材の曲げモーメントと引張縫ひずみの関係の一例、その1
(外径 30 cm, 鋼管の肉厚 3.2 mm, 内張コンクリートの厚さ 10 cm)

りと同じように、一軸応力状態とし、維ひずみは中立軸からの距離に比例するものとして求めてよいことが明らかになつた。

次に、鋼管コンクリート合成部材に曲げモーメントが作用するときの、鋼管のひずみの算定方法について考察を行った。図-13は、厚さ3.2mmの鋼管に6cmのコンクリートを内張した中空鋼管コンクリート合成部材について、コンクリートに膨張材を用いたものと、用いないものの曲げ引張ひずみと曲げモーメントの実測結果を比較した一例である。4.に示したように、マクロ的にみたたわみ性状については、膨張材を用いたものと、用いないものとでほとんどその差が認められないが、ひずみについてミクロ的にみると、図-13に示すように若干その傾向が異なっている。すなわち、曲線の立ち上がりの部分については、膨張材を用いた試験体も用いない試験体も、その両者はよく一致しているが、膨張材を用いない場合は鋼管の引張限界ひずみが 200×10^{-6} で、膨張材を用いた場合は 500×10^{-6} で、ひずみの勾配が変化している。これは、鋼管の内部の内張コンクリートにひびわれが発生したためと考えられるものであり、膨張材を用いたものはケミカルプレストレスによって、そのひびわれ荷重が増大したことを見ている。

ひびわれが発生した後の両者のひずみ変化の勾配は一致しており、また、ほぼ同一の曲げモーメントのときに鋼管が降伏し、ひずみが急激に増加した。このように、鋼管が降伏するまでの曲げモーメントに対するひずみ変化の傾向は、膨張材を用いたものと用いないものとが、異なった経過をたどる結果となっている。このような現象は、すでに明らかにされているように、コンクリートが膨張し鋼管が引張を受け、その反力によりコンクリー

トは圧縮を受けているためである¹⁰⁾.

図-13の実験値を説明するために、コンクリートの引張強度を無視し、鋼管のヤング係数を $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ とし、コンクリートのヤング係数を、供試体を用いて得られた値 $4.14 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (したがって、ヤング係数比は、5.07となる)とした計算値と、外力に対してコンクリートと鋼管の全断面が有効に作用するとして求めた計算値を示した。これより、ひずみの小さい範囲では、全断面を有効とした値にほぼ一致するが、ひずみが大きい範囲では、引張縁を無視した値に近づいてくる。このように、膨張材を用いたものも用いないものも、そのひずみは2つの計算値の間にあるのであり、ひずみを正確に算定するためには、この2つの方法を併用する必要があることがわかる。

膨張材を用いない場合について、設計応力に近い状態を対象において考えてみる。図-14は、直径30～60cmの鋼管に膨張材を用いないコンクリートを、遠心力により内張した中空鋼管コンクリート合成部材について、鋼管の引張応力度を1000, 1500および2000kg/cm²とするときの、コンクリートの引張強度を無視して、ヤング係数比を5.07（コンクリートのヤング率を 4.14×10^6 kg/cm²）として求めた、曲げモーメントの計算値と実測値を比較したものである。その結果、引張応力を1000kg/cm²とするときの実測値と計算値の比は1.26、引張応力度を1500kg/cm²とするときは1.16、引張応力度を2000kg/cm²とするときは1.11であり、全体では1.17であった。したがって、中空鋼管コンクリート合成部材に曲げモーメントが作用するときの応力度は、コンクリートの引張強度を無視した計算方法により、ヤン

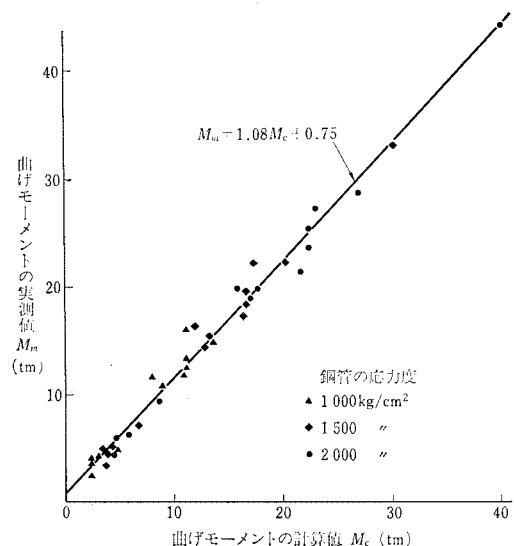


図-14 鋼管の引張応力度を仮定するときの曲げモーメントの実測値と計算値の比較（膨張材を用いない部材）

グ係数比を 5.07 としてほぼ推定できることを示している。このことより、一般の鉄筋コンクリート部材と同じような考え方によって、すなわち、引張側のコンクリート強度を無視して、また鋼管とコンクリートとのヤング係数比を一定値にとって応力を求めておけば十分であると思われる。

次に、膨張材を用いたときの応力状態について考察することにするが、その前にまずひびわれモーメントについて考えてみる。図-13 の曲線の勾配変化点より考えてみて、膨張材を用いない場合の中空鋼管コンクリート合成部材のひびわれ曲げモーメントの値は 2.6 tm であり、一方、供試体から得られたコンクリートの曲げ強度の 90 kg/cm^2 を用いて計算したひびわれ曲げモーメントの値は 2.77 tm であるから、実測値と計算値の比は 0.94 である。また直径 30 cm 、厚さ 4.1 mm の鋼管を用いた場合の同様にして求めたひびわれ曲げモーメントの実測値と計算値の比は 1.09 であった。これらのことより、コンクリートの無筋供試体から得られた曲げ強度である 90 kg/cm^2 を用いて、ひびわれ曲げモーメントを計算することができる。膨張材を用いた試験体のひびわれ曲げモーメントについて考えてみると、この場合ひびわれ曲げモーメント M_{cr} は式(2)で表せる。

وَلِكُلِّ

Z_e : 鋼管とコンクリートの全断面を有効とするときの断面係数

6.2. ポンクリートの曲げ引張強度

σ_{ct} : コンクリートの膨張によりコンクリート部分に生じた圧縮応力

したがって、

式(3)において、ひびわれ曲げモーメントの実測値をそれぞれの試験体の曲げモーメントとひずみの関係から、ひずみの勾配の急変している点として求めて、またコンクリートの曲げ引張強度 σ_{ct} を 90 kg/cm^2 として、膨張材の作用により生じた圧縮応力の計算を行ってみた。その結果、図-13に示した肉厚 3.2 mm の鋼管に膨張コンクリートを内張した場合の σ_{ct} の計算値は 96 kg/cm^2 であった。換言すれば、このケミカルプレストレス量に相当する量だけコンクリートのみかけ上の引張強度が大きくなるので、それだけ全断面有効に働く範囲が大きくなるといえる。しかし、逆に鋼管には、コンクリートに受けた圧縮力とつり合う引張力が生じていることになる。すなわち、

$$\sigma_{st} A_s = \sigma_{ct} A_c$$

$$\therefore \sigma_{st} = \sigma_{ct} \cdot \frac{A_c}{A_s} = \frac{\sigma_{ct}}{p} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

ここに、

$$\begin{aligned}\sigma_{st} &: \text{膨張材の作用により钢管に生じた引張応力} \\ A_s &: \text{钢管の断面積} \\ A_c &: \text{コンクリートの断面積} \\ p &: \text{钢管比} (=A_s/A_c)\end{aligned}$$

式(4)によって計算すると、钢管には、膨張材の作用により 1377 kg/cm^2 の応力が生じている。すなわち、钢管には荷重載荷以前の状態において、初期応力として 1400 kg/cm^2 近い応力が働いていることを示している。図-13 には、この初期応力に相当するひずみ量を修正した真のひずみを点線で図示してある。すなわち、膨張材を用いた場合には、プレストレスが導入されているため膨張材を用いない場合よりひびわれ荷重が大きく、降伏するまでのひずみは小さいが、钢管の応力度について考えてみると、初期応力のぶんだけ大きくなる。たとえば、図-13において、曲げモーメントが 2.0 tm のときの钢管の応力度は膨張材を用いない場合には、 399 kg/cm^2 であるのに対し、膨張材を用いた場合は 1743 kg/cm^2 であり、4.4 倍の値を示している。同様に曲げモーメントが、 4 tm および 6 tm では、膨張材を用いた場合の応力度は、膨張材を用いない場合の 2.0 倍および 1.3 倍となっている。このように、比較する曲げモーメントが増加するにつれ、膨張材を用いた場合と用いない場合の応力度の比は減少しているが、これは、膨張材を用いる場合のひびわれ曲げモーメントが、膨張材を用いない場合のそれよりも大きいため、曲げモーメントの増加によるひずみの増加が膨張材を用いた方が小さいためである。

以上は、 3.2 mm の钢管を用いた実験結果であるが、同様に 4.1 mm の钢管に膨張材を用いたコンクリートお

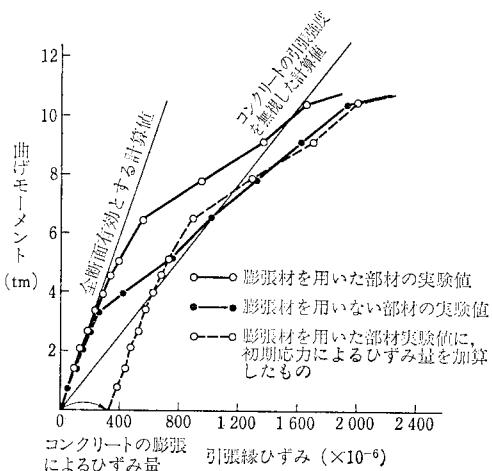


図-15 中空钢管コンクリート合成部材の曲げモーメントと引張縁ひずみの関係の一例、その 2
(外径 30 cm 、钢管の肉厚 4.1 mm 、内張コンクリートの厚さ 6 cm)

よび、膨張材を用いないコンクリートを 6 cm 内張した中空钢管コンクリート合成部材の比較試験を行った。その結果は 図-15 のとおりであり、この場合も図から明らかのように、 3.2 mm の钢管を用いた場合と同様の傾向を示している。

一般に、膨張材を用いれば、ケミカルプレストレスにより荷重に対するひびわれ幅は小さくなるが、中空钢管コンクリート合成部材の場合は、鋼材が最外縁にあり、一般にはコンクリートのひびわれ幅を設計に考慮する必要がない。したがって、中空钢管コンクリート合成部材の場合は、膨張材を用いるか否かの検討は別の観点からなされなければならない。

膨張材によって鋼材に作用する初期応力は、鋼材に作用している実質的な応力としては、常に加算される性質のものである。ケミカルプレストレスを曲げモーメントによる応力に加算すると、先に述べたように、ひびわれ発生までは膨張材を用いたものと用いないものとで応力とひずみの関係が異なっているが、ひびわれ発生後は両者ともにコンクリートの引張強度を無視した鉄筋コンクリートとしての計算値に近づいていく。そこで、コンクリートに膨張材を用いた場合は、設計の対象とする時点におけるコンクリートの引張強度を無視したひびわれ曲げモーメントを計算し、外力による曲げモーメントより小さい場合と、それ以上との場合に分けて、次のように応力度の算定を行うことが適当であると思う。

(1) 外力による曲げモーメントがひびわれ曲げモーメントより小さい場合は、プレストレスコンクリート部材と同様に、外力に対しては全断面有効としてコンクリートおよび钢管の応力度を算定し、それに膨張材により生じた応力をそれぞれ加算して応力度を算定する。

(2) 外力による曲げモーメントがひびわれ曲げモーメント以上の場合は、膨張材によるケミカルプレストレスを無視して、鉄筋コンクリート部材として応力度を算定する。

以上述べた方法で設計を行うには、コンクリートの膨張により生じたケミカルプレストレスが、コンクリートの乾燥収縮とクリープのため時間とともに低減していくことを考慮し、外力の作用する時点のケミカルプレストレスを用いなければならないことはいうまでもない。

部材中央点のたわみについての実験結果について、ひずみの場合と同様に考察した結果は、図-16 のとおりである。ひずみの場合と同様に膨張材を用いたものも用いないものも、その実測値は、全断面を有効とする計算値とコンクリートの引張強度を無視した計算値との間にある。

たわみ曲線の初期の立ち上がりの部分は、全断面を有効とする計算値に一致しており、膨張材を用いたもの

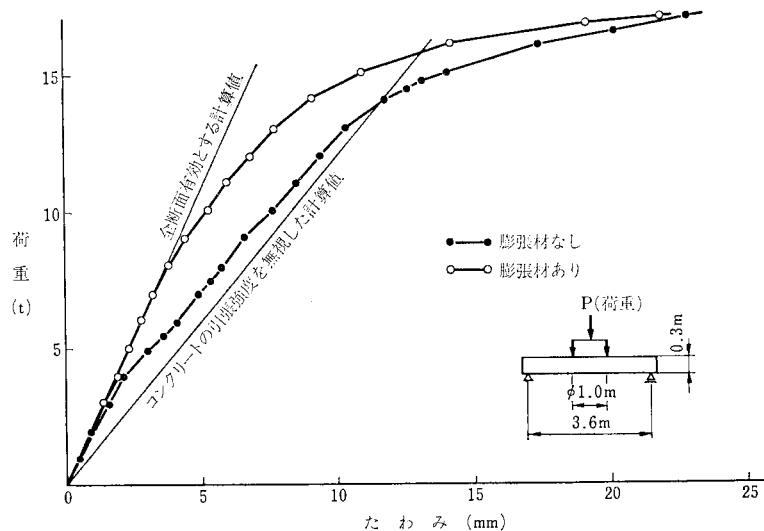


図-16 中空鋼管コンクリート合成部材の荷重とスパン中央点のたわみの関係の一例

は、膨張材を用いないものよりも全断面有効とする範囲が大きく、曲げ剛性が高く、変形が小さくなっている。コンクリートにひびわれが発生した後の荷重に対するたわみ曲線の勾配は、膨張材の使用の有無にかかわらず、コンクリートの引張強度を無視した計算値に近づいてくる。したがって、同一の荷重に対するたわみは、膨張材を用いたものの方が小さくなる。

このように、コンクリートに膨張材を用いることによって、部材としての曲げ剛性を高めることができるが、前述のように曲げモーメントが作用しない状態でも、鋼管にかなりの引張応力が導入されているので、部材の応力という観点からすれば必ずしも有利なわけではないことを考える必要がある。

一般に構造物に外力が作用するとき、曲げモーメント

の大きい部分は限定され、大部分はひびわれの発生する以前の状態であると考えられる。そこで、中空鋼管コンクリート合成部材を構造物に用いる場合も変位の計算は一般の鉄筋コンクリートあるいはプレストレストコンクリート構造物と同様に、全断面を有効として変位量を求めてよいものと思われる。

7. 曲げ破壊耐力の計算方法

前章では、中空鋼管コンクリート合成部材の応力度の算定方法について述べたが、破壊に対し余裕

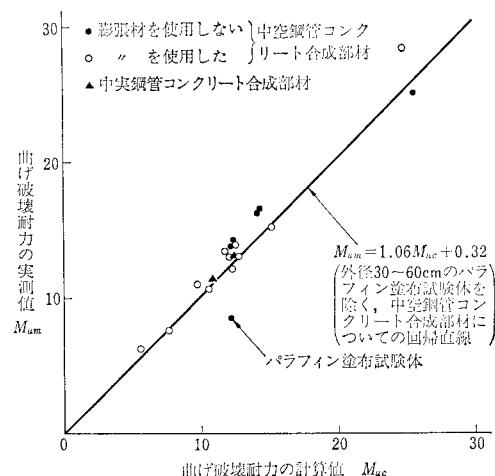
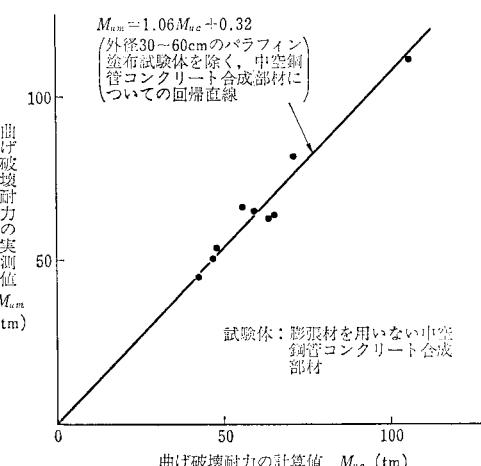
がどの程度あるかを検討することも必要である。

中空鋼管コンクリート合成部材が曲げ破壊する荷重状態のときは、圧縮縁のコンクリートが脱落しないで明確な破壊を示さない場合はもとより、コンクリートが脱落する場合でもひずみの測定結果より、部材の圧縮域および引張域において钢管は降伏しているものと思われる。そこで、次のように仮定して、中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ破壊耐力を計算し実測値と比較を行った。

(1) 中立軸の位置を境として圧縮側および引張側ともに、矩形状の応力分布を示すものとする。

(2) その応力の大きさを、コンクリートの場合は、供試体の試験より得られた圧縮強度とし、钢管の場合は、引張試験片より得られた降伏点強度とする。

(3) コンクリートの引張強度は無視する。

図-17 曲げ破壊耐力の実測値と計算値の比較
(外径 30 cm の場合)図-18 曲げ破壊耐力の実測値と計算値の比較
(外径 40~60 cm の場合)

破壊耐力の実測値と比較した結果が、図-17 および図-18 である。図-17 は、直径が 30 cm の中空鋼管コンクリート合成部材について、膨張材を用いたものと、用いないものの曲げ破壊耐力の実測値と計算値を比較したものである。図中には、中実鋼管コンクリート合成部材についても、同一の方法によって計算した結果をあわせて示した。図-18 は、直径が 40~60 cm の鋼管に膨張材を用いないコンクリートを内張した中空鋼管コンクリート合成部材について示したものである。

図-17 および図-18 より、曲げ破壊耐力の計算値と実測値は、鋼管の内側にパラフィンを塗布したものと除いて、膨張材の使用の有無、鋼管の肉厚、内張コンクリートの肉厚および鋼管の外径の変化にかかわらずよく一致しており、曲げ破壊耐力の実測値と計算値との比は、実験に用いた直径 30~60 cm の中空鋼管コンクリート合成部材のうち、パラフィンを鋼管の内側に塗布したものと除いて、全体で平均 1.07、標準偏差を 0.064 であった。また、中実鋼管コンクリート合成部材の場合も、実測値と計算値はよく一致している。

以上のことより、中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ破壊耐力は、膨張材の使用の有無にかかわらず、前述のような仮定によって求めてよいものと思われる。

8. 結論

鋼管の内側にコンクリートを遠心力により内張した中空鋼管コンクリート合成部材について、実際に用いられている部材を試験体とし、部材中央に荷重を静的に加えて主としてその曲げ性状に関する一連の実験を行ったが、その結果から次のことがいえる。

(1) 中空鋼管コンクリート合成部材に荷重を加えて、曲げモーメントを作用させるときの変形性状は、中実鋼管コンクリート合成部材と同様大きな塑性変形能力をもっている。これは、変形が大きくなってコンクリートのひずみが圧縮破壊の限界ひずみに達しても、コンクリートは鋼殻によって拘束されており、外側にコンクリートが崩落することではなく、またアーチ作用により部材の内側にもコンクリートが剥落しないことによって、コンクリートの圧縮破壊に対するみかけの限界ひずみが増大するためである。

(2) 中空鋼管コンクリート合成部材における鋼管とコンクリートとの合成効果を調べるために、コンクリートに膨張材を用いて鋼管とコンクリートの間にケミカルプレストレスを導入したもの、さらに鋼管の内面に突起をつけたものなどの試験体を作り比較試験を行った。その結果、鋼管の内側に膨張材を用いないコンクリートを遠心力により内張した中空鋼管コンクリート合成部材は、

膨張コンクリートを内張したもの、あるいは、鋼管の内側に突起をつけて膨張コンクリートを内張したものとほぼ同等の曲げ性状を示すことが明らかとなった。これは、遠心力締固めによって、鋼管とコンクリートとの間は十分に密着しているからで、付着効果を高めるための特別のことをしなくとも、外力に対して両者の間に機械的な摩擦力が生じ、また鋼管のコンクリートに対する拘束効果もあって、鋼管とコンクリートとは一体となって作用するためであると考えられる。

(3) 中空鋼管コンクリート合成部材は、一般に大きな塑性変形能力をもっているが、そのためには大変形時における中立軸が内張コンクリートの中にあることが必要であり、内張コンクリートの厚さが薄すぎる場合、鋼管の肉厚が厚すぎる場合等においては、内張したコンクリートが剥落して必ずしも十分な塑性変形能力が得られない場合がある。

(4) 膨張材を用いない中空鋼管コンクリート合成部材のひずみは、その変形が小さい範囲（コンクリートの引張応力度が 90 kg/cm² 以下）においては、全断面有効と考えて求めた理論値に実験値はよく一致するが、変形が大きくなつてコンクリートの引張側にひびわれが発生する状態では、一般的な鉄筋コンクリートと同様にコンクリートの引張強度を無視して求めた理論値に実験値は近づいていく。したがって、一般的にはコンクリートの引張強度を無視して通常の鉄筋コンクリート部材 ($n=5.07$) として、応力度を求めてよいものと思われる。

(5) 膨張材を用いてコンクリートにケミカルプレストレスを導入する場合には、引張強度はみかけ上このケミカルプレストレス量だけ増大するので、全断面有効として作用する範囲が大きくなる。一方、鋼管にはコンクリートの膨張により引張応力度が生じており、これを考慮すると同一の曲げモーメントの作用する場合の鋼管の応力度は、膨張材を用いた方が膨張材を用いない場合よりも大きい。しかし、ひびわれ発生後は膨張材を用いる場合も、膨張材を用いない場合と同様に、コンクリートの引張強度を無視して求めた理論値に近づいていく。

したがって、膨張材を用いる場合は外力の作用する時点におけるコンクリートの引張強度を無視したひびわれ曲げモーメントを計算し、外力による曲げモーメントとその大きさを比較し、次のように応力度を求めてよいものと思われる。

① 外力による曲げモーメントがひびわれ曲げモーメントより小さい場合には、プレストレストコンクリート部材と考え、全断面が外力に対して有効に作用するものとする。

② 外力による曲げモーメントがひびわれ曲げモーメント以上の場合には、ケミカルプレストレスは考慮せず

に、一般的の鉄筋コンクリート部材と考える。

(6) 中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ破壊耐力は、膨張材を使用する場合も使用しない場合も、中立軸の位置を境にして圧縮側および引張側とともに応力の分布形状を矩形とする、その場合の応力の大きさは、コンクリートは供試体の試験により得られた圧縮強度、鋼管は試験片より得られた降伏点強度とするとして求めた理論値とよく一致した。したがって、中空鋼管コンクリート合成部材の曲げ破壊耐力は、前述の仮定によって求めてよいものと思われる。

参考文献

- 1) 仲 威雄・加藤 勉・金谷 弘・山口太郎：コンクリート充填鋼管の偏心圧縮実験、日本建築学会論文報告集、号外、昭和40年9月。
- 2) Furlong, R.W. : Design of Steel-Encased Concrete Beam-Columns, Journal of ASCE, Str. Div., pp. 267~281, Jan., 1968.
- 3) Neogi, P.K., H.K. Sen and J.C. Chapman : Concrete-Filled tubular Steel Columns under Eccentric Loading, The Structural Engineer, Vol. 47, No. 5, pp. 187~195, May, 1969.
- 4) Chen, W.F. and Chen, C.H. : Analysis of Concrete-Filled Steel Tubular Beam-Columns, IABSE Publications, 33-II, pp. 37~51, 1973.
- 5) 富井政英・崎野健治：一定軸圧と純曲げモーメントを受ける角形鋼管にコンクリートを充填した柱材に関する実験的研究、日本建築学会 学術講演概要集、pp. 1287~1288、昭和48年10月。
- 6) 辻 正哲・岡村 甫・原島竜一：モルタル充てん鋼管柱におけるらせん鉄筋の効果、コンクリート工学 Vol. 16, No. 11, pp. 103~114, Nov., 1978.
- 7) 山添 央・井上 博：硬い中間層を打ち抜く鋼管コンクリートぐい、建築技術、No. 284, pp. 131~139, Apr., 1975.
- 8) 和田克哉：鋼管コンクリート杭の設計と杭頭結合部の試験、プレストレストコンクリート Vol. 18, No. 1, pp. 2~10, Feb., 1976.
- 9) Matzumoto, Y., K. Fukuzawa and H. Endo : Manufacture and Behavior of Hollow Composite Members, Final Report of IABSE, Tenth Congress (Tokyo) pp. 389~394.
- 10) 岡村 甫・辻 幸和：ケミカルプレストレスを導入したコンクリート部材の力学的特性、土木学会論文報告集、第225号、pp. 101~108、1974年5月。

(1979.9.19・受付)