

## 鋼管コンクリートにより座屈を拘束した アンボンドブレースに関する研究

A STUDY ON THE UNBONDED BRACE ENCASED IN BUCKLING-RESTRAINING CONCRETE AND STEEL TUBE

藤本 盛久\*      和田 章\*\*      佐伯 英一郎\*\*\*      渡辺 厚\*\*\*      人見 泰義\*\*\*\*  
By Morihisa FUJIMOTO, Akira WADA, Eiichirou SAEKI, Atsushi WATANABE and Yasuyoshi HITOMI

It has been desired to develop such braces as can permit choosing the designed rigidity, yield strength independent of the susceptibility to buckling. The brace presented in this paper is a buckling-resistant structural member consisting of a steel core members enclosed in a concrete-filled square steel tube. The core member is coated with a non-bonding material, so that no axial force works on the concrete and the steel tube. Consequently, the buckling strength of this brace is equal to Euler's elastic buckling load of the outer steel tube. This brace shows stable hysteresis if the yielding load working on the core member is smaller than the buckling load of the steel tube. This paper reports the results of the tension and compression tests and numerical analysis of these structures.

### 1. 序論

鉄骨構造による建築骨組の強風時の変形・振動を低減し、水平力に対する抵抗力を増すこと及び地震時の変形を低減し、水平耐力を高めることに対して、鉄骨骨組に鉄骨ブレースを合理的に配置することは非常に有効である。ラーメン構造の変形は柱・はりの曲げ変形が支配的で弾性限変形が大きく、塑性変形能力も高い。このラーメン構造の中に、軸方向の伸縮によって変形し、弾性限変形の小さい鉄骨ブレースを組込んだ骨組は以下のような性質・問題点を持つ。細長比の大きなブレースを用いた場合には、ブレースが引張力を受けているときは接合部が破断しなければ変形能力があるが、圧縮変形を受けると横変形を生じ圧縮力を負担できず、繰返し荷重下ではスリップ型の性質を示す。細長比が十分小さな場合には圧縮力も負担し、ある程度座屈も生じにくいので良好な力学的性質を有することになるが、周辺のラーメンに比較して剛性が高くなるため水平力の分担が大きくなりすぎ、周辺の柱に過大な付加軸力を生じることがある。前二者の中間に属する細長比を持ったブレースを組込んだ骨組の場合は、特に圧縮力を受けたときの座屈現象が脆性的なため塑性変形によるエネルギー吸収に期待した設計は難しい。以上の理由により、ブレースを含んだ鉄骨構造を、鉄骨構造が持つ大きな靱性を活かして設計することは難しいと言える。これを解決するために色々なアイデア

---

*	工博	神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1	(〒221	神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)
**	工博	東京都目黒区大岡山 2-12-1	(〒152	東京都目黒区大岡山 2-12-1)
***	工修	東京都千代田区大手町 2-6-3	(〒100	東京都千代田区大手町 2-6-3)
****	東京工業大学大学院生	東京都目黒区大岡山 2-12-1	(〒152	東京都目黒区大岡山 2-12-1)

アが考えられ、たとえば偏心ブレースなどが実施設計に用いられているが、これらの方法はブレース自体は全くエネルギーを吸収せず、はりの局所的な塑性変形によりエネルギーを吸収させている。ここで、圧縮力を受けても座屈せずに引張力を受けた場合と同様な性質を得ることができれば上記の問題は解決し、座屈問題から解放されれば、鋼材の降伏応力度、断面積を適切に選択することができるから、建物にとって必要な剛性、耐力、降伏時変形をある程度自由に設計することが可能になる。

木村等<sup>1, 2)</sup>は、従来のブレース材の外側に角鋼管をかぶせ、ブレース材と鋼管との間にモルタルを充填したブレース材について、安定した履歴性状を示すことを確認している。しかし圧縮時の、ブレース材が降伏した後の断面積の変化をモルタルの変形で吸収できないため、復元力特性の圧縮側の耐力上昇が引張側よりも大きくなり、繰返しによりブレース材端部の抜け出し量が蓄積され、その部分で局部座屈を生じ耐力低下を招いている。

望月等<sup>3, 4)</sup>は、鉄筋コンクリートで鉄骨筋違を巻き座屈を抑え筋違とコンクリートとの付着をとるアンボンド材を使用した実験を行なっている。しかしながら、座屈防止に鉄筋コンクリートを用いた場合、繰返し加力により、コンクリートにひび割れが入り、座屈防止効果が薄れて、ブレースが座屈しやすい傾向になることを報告している。

この他、若林等<sup>5, 6)</sup>は帯板状の絶縁ブレースを内蔵したプレキャストコンクリート壁（以下PC壁と呼ぶ）の研究を行なっている。水平力により帯板が降伏した後も、PC壁の拘束効果により、安定した塑性変形能力を持たすことに成功している。

このような背景と、このアイデアを更に現実的なものにするため、筆者等は安定した復元力特性を持った、アンボンドブレースを設計した。このブレースは、芯となる長方形断面のブレース材（以下、芯ブレースと呼ぶ）を、フレームや芯ブレースと絶縁し軸力が伝達されないようにした鋼管コンクリートにより被覆し、座屈を拘束したものである。本論文ではこのブレースに関する5体の実験、弾塑性性を考慮した座屈解析、芯ブレースが安定して降伏するために必要な鋼管の座屈耐力について考察を行なう。

## 2. 試験体と実験方法

試験体は、図1に示すように芯ブレースを鋼管コンクリートにより被覆したものである。芯ブレースにはSS41材を用い素材試験による降伏応力度は $2880\text{kg/cm}^2$ 、鋼管にはSTKR50を用い素材試験による降伏応力度は $3700\text{kg/cm}^2$ であった。鋼管コンクリートをフレームと絶縁するために試験体端部では芯ブレースが露出しているが、この部分の局部座屈を防止するために、図2に示すように芯ブレースの両端での断面形状を十字型にし鋼管内部にくり込ませている。このとき、この座屈止が鋼管コンクリートに軸力を伝えないように、材軸方向に発泡スチロールにより隙間を設けた。またコンクリートと芯ブレースとの間に、芯ブレースが塑性に入ったときの体積変化を吸収できるアンボンド材を用いることで、鋼管コンクリートに軸力が摩擦によっても伝達されないようにしている。今回用いたアンボンド材は、芯ブレースの厚さ方向に両面にVMテープ、幅方向に両側に厚さ3mmの発泡スチロールである。図3に示すように、芯ブレースの断面はすべて $19\times 90\text{mm}$ で一定とし、鋼管の断面寸法を変えることで、芯ブレースの降伏荷重 $P_y$ に対する鋼管のみのオイラー座屈荷重 $P_E$ の比が、 $0.55\sim 3.82$ となる計5つの試験体について行なった。表1に各試験体の計算耐力を示す。

実験装置は、図3および写真1に示すようにフレームの中にこのブレースを組込んだものである。このフレームは、柱の上端と下端がピンとなっており、ブレースは柱に取りついているためフレームの変位に応じて実際の構造物と同様に、ブレースの端部に曲げモーメントの影響等が加わるようになっている。

加力方法は、110ton アクチュエータにより、フレームに水平力を加える事により行った。芯ブレースの長期及び短期許容荷重と、最大層間変形角が $1/400\sim 1/50$ のときをピークとする計8回の正負交番繰返し載荷を行なった。

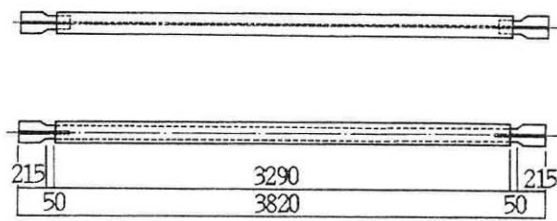


図1 試験体

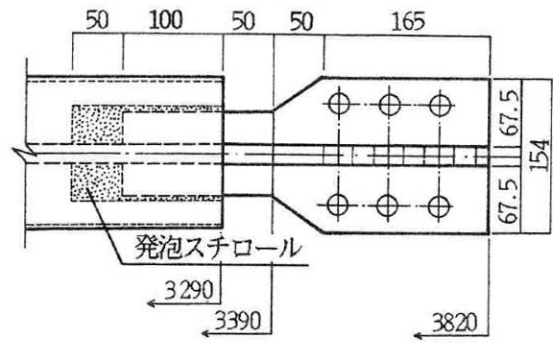


図2 試験体端部詳細

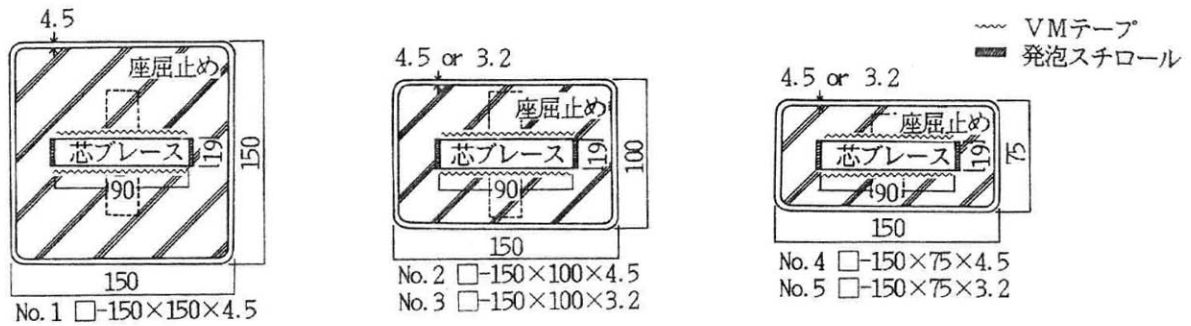


図3 試験体断面

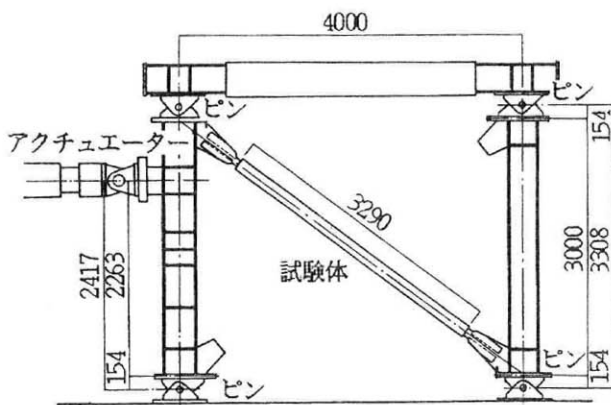


図4 実験装置

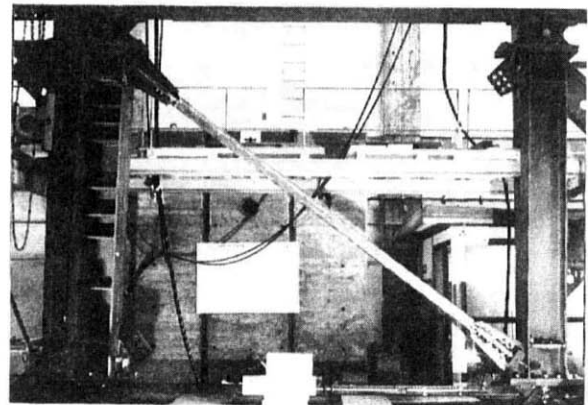


写真1 実験装置

表1 計算耐力 および 実験結果

試験体 番号	実験変数 鋼管寸法 B×D×t (mm)	計算耐力					実験結果						
		鋼管		芯ブレース			引張降伏		圧縮降伏		座屈		
		断面二次 モーメント I <sub>k</sub> (cm <sup>4</sup> )	座屈荷重 P <sub>E</sub> (ton)	断面積 A (cm <sup>2</sup> )	降伏荷重 P <sub>y</sub> (ton)	P <sub>E</sub> / P <sub>y</sub>	荷重 P <sub>t</sub> (ton)	P <sub>t</sub> / P <sub>y</sub>	荷重 P <sub>c</sub> (ton)	P <sub>c</sub> / P <sub>y</sub>	荷重 P <sub>cr</sub> (ton)	P <sub>cr</sub> / P <sub>E</sub>	
No. 1	150x150x4.5	896	171.0	16.84	48.50	3.53	48.6	1.00	51.5	1.06	-	-	-
No. 2	150x100x4.5	352	67.4	16.84	48.50	1.39	48.3	1.00	51.8	1.07	-	-	-
No. 3	150x100x3.2	262	50.2	16.88	48.61	1.03	47.6	0.98	49.3	1.01	-	-	-
No. 4	150x75x4.5	183	35.0	16.84	48.50	0.72	48.3	1.00	-	-	46.5	0.96	1.33
No. 5	150x75x3.2	137	26.2	16.62	47.87	0.55	47.9	1.00	-	-	43.1	0.90	1.65

計算では、モルタルは繰り返しによりひび割れが入るため、耐力・剛性は無視した。

$$\text{オイラー座屈荷重 } P_E = \frac{\pi^2 E I_k}{l^2}$$

変位測定は、ブレースの軸方向変位、弱軸方向のたわみ、および芯ブレースの鋼管コンクリートからの抜けだし量について行なった。芯ブレースの8断面および鋼管の3断面について軸方向のひずみを、鋼管の中央断面について周方向のひずみを測定した。

### 3. 実験結果

実験結果の一覧を、表1の後半に示す。鋼管の座屈耐力が、芯ブレースの降伏耐力を越えた試験体

(No. 1~No. 3)については圧縮力を受けても座屈せず、図5~図7に示すように、エネルギー吸収が大きく、安定した履歴性状を示した。引張側の履歴曲線は、芯ブレースの弾性剛性と一致した勾配で荷重が上昇し、芯ブレースの降伏荷重に達したところでブレースも降伏する。この傾向は、圧縮側についても言えるが、降伏荷重は芯ブレースの降伏荷重よりやや高い。降伏時の層間変位角は約1/500であり、最終変形時の層間変位角1/50に於いても、安定した性状を示していることから、一般的なラーメンの変形1/200~1/50に対して十分協調性のある履歴性状を有すると言える。また、芯ブレースの断面積が全ての試験体について共通なため、鋼管の寸法に関係せずに、3つの履歴曲線ともほとんど同様な曲線が得られた。

芯ブレースと鋼管コンクリートとに間の付着力については、初期剛性が芯ブレースのみの剛性にほとんど一致していること、圧縮力を受ける場合においても鋼管コンクリート部に流れた軸力は全体の5%程度であること等により、今回用いたアンボンド材(VMテープ+発砲スチロール)の絶縁効果が認められた。

実験後、鋼管コンクリートをはつり、芯ブレースの変形状況を調べたが、芯ブレースは降伏した後全長にわたって幅方向に、アンボンド材として用いた発砲スチロールの幅の範囲で緩やかに波打つ変形を生じていた。しかしながらこの変形は、コンクリートに突きあたり拘束されていることと、芯ブレースのひずみ分布は特に大きな値を示しているところがなく、芯ブレースは一様に降伏しているため、このことが全体の履歴性状に及ぼす影響は少ない。またこの波打つ変形により芯ブレースの負担できる軸力も小さくなることも考えられるが、本実験程度の隙間では、圧縮時には摩擦などの影響により耐力は上昇し、また引張時には芯ブ

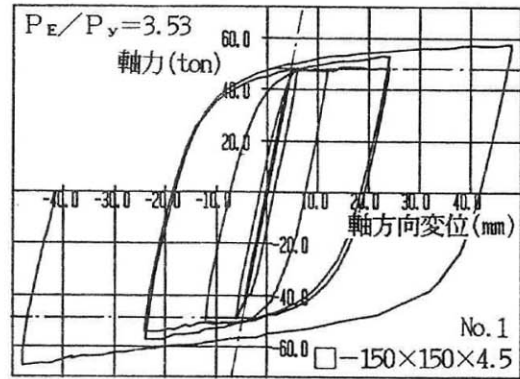


図5 ブレース軸力-軸方向変位の関係 No. 1

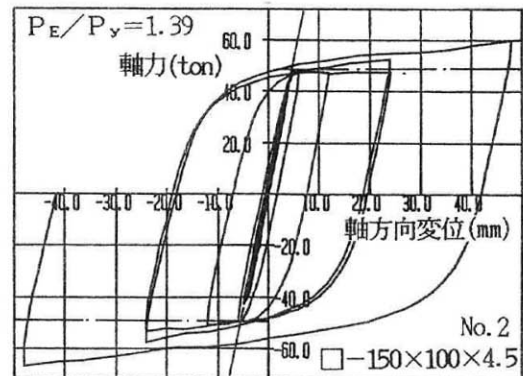


図6 ブレース軸力-軸方向変位の関係 No. 2

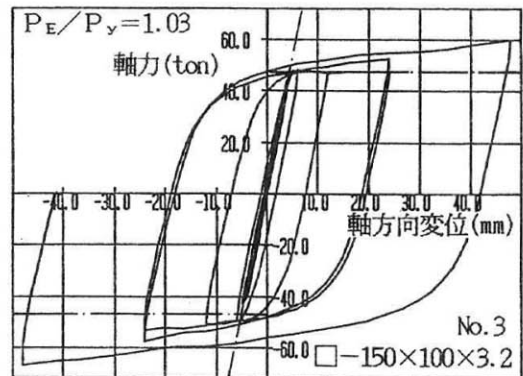


図7 ブレース軸力-軸方向変位の関係 No. 3

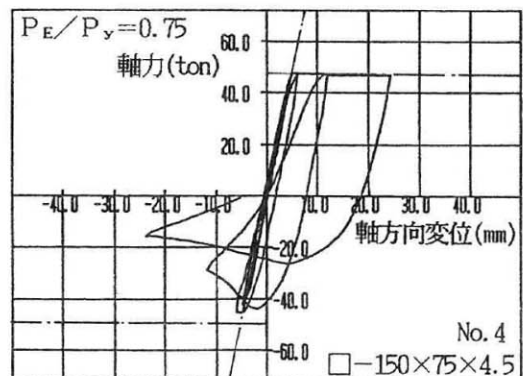


図8 ブレース軸力-軸方向変位の関係 No. 4

レースは直線状となり全断面引張降伏するため、このことによる耐力低下は無視できる。

一方、鋼管の座屈耐力が、芯ブレースの降伏耐力を下回った試験体 (No. 4, No. 5) においては、圧縮時の芯ブレースが降伏する前に全体座屈を起こし、図8、図9に示すように急激に耐力が低下した。座屈荷重はNo. 4で46.5ton, No. 5で43.1tonであり、それぞれ芯ブレースの降伏荷重 $P_y$ の96%、90%であった。

一旦座屈が起こると圧縮時には、部材が曲線状になるため芯ブレースと鋼管コンクリートとの間に摩擦力が生じ、鋼管コンクリート部に軸力が流れる。そのため、一般的なブレースが座屈した場合と同様な履歴曲線を示した。しかしながら、引張時には座屈が生じた後も付着が再び切れ、芯ブレースのみが降伏するため、芯ブレースには引張ひずみが蓄積され、端部の抜け出し量を増大する結果となった。

実験後の試験体の状況を写真2に示す。左からNo. 1、2、3、4、5の順に写してある。

#### 4. 鋼管コンクリート内での芯ブレースの座屈

本ブレースが座屈を起こさずに芯ブレースの降伏荷重を有効に発揮するためには、鋼管コンクリート内での芯ブレースの座屈を防止しなければならない。鋼管コンクリート内での芯ブレースの座屈挙動に関して、以下に示す点について検討する。

- (a) 鋼管と芯ブレースとの間に充填してあるコンクリートが、芯ブレースが鋼管内で波長の短い座屈を起こさないよう十分な剛性を持っており、芯ブレースと鋼管の材軸に対する法線方向の変位を一致させるための充填材として十分なものであること。
- (b) 芯ブレースとコンクリートとの間に設けた隙間で芯ブレースは波打つ変形を起こすが、この変形がコンクリートに突き当たりたることにより生じる曲げモーメントが、鋼管を降伏させたり、その結果として屈拘束効果を低下させないこと。

(a)の問題に関して鋼管が十分に剛と仮定して、図10に示すように、鋼管と芯ブレースとの間のコンクリートを材軸に添って連続的に配置された弾性バネ(弾性床)とする。このとき、この単位当りのバネ定数 $\beta$ は、座屈の拘束には圧縮側のコンクリートしか効かないと考え、コンクリートのヤング係数に芯ブレースの幅を掛けたものを、鋼管と芯ブレースの間のコンクリートの片側の厚みで割ったものである。

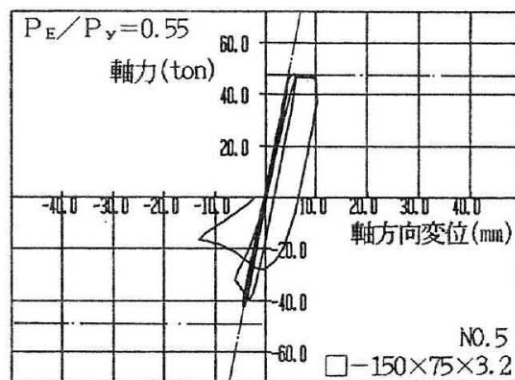


図9 ブレース軸力-軸方向変位の関係 No. 5

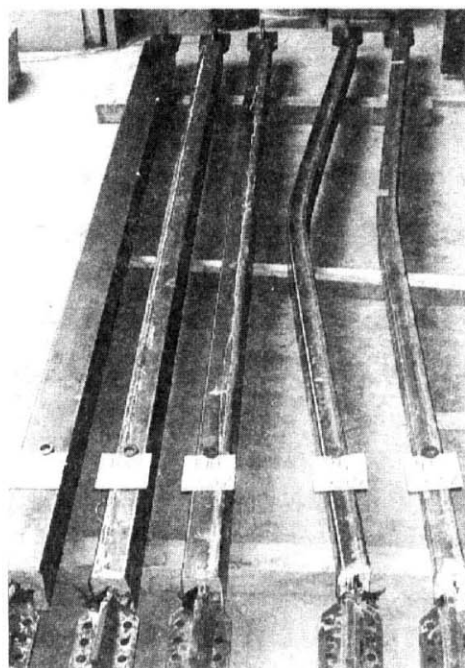


写真2 最終変形状況

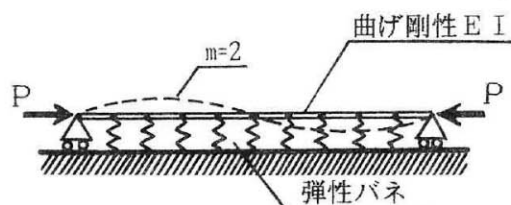


図10 弾性床上的の棒の座屈問題

これを弾性床の上の棒の座屈問題として考えると、座屈に対して細分される半正弦波の数 $m$ に応じて、芯ブレースの座屈荷重 $P_m$ は、(1)式で表される。

$$P_m = \frac{\pi^2 E I}{l^2} \left( m^2 + \frac{\beta l^4}{\pi^2 m^4 E I} \right) \quad (1)$$

(1)式の表す一般的な場合について $m$ を1から7まで変化させて図11にしめす。この各曲線の最低値 $P_{min}$ が芯ブレースの降伏荷重を上回っていれば鋼管内部で波長の短い座屈を起こさず、芯ブレースの降伏荷重 $P_y$ を十分に発揮できる筈である。

この座屈荷重 $P_m$ の最低値 $P_{min}$ は、 $l$ や $m$ に関係なく(2)式で表される。

$$P_{min} = 2\sqrt{\beta E I} \quad (2)$$

今回の実験のNo. 1を例にとれば、片側のコンクリートの厚み6cm、幅9cm、コンクリートのヤング係数を210ton/cm<sup>2</sup>として $\beta = 315\text{ton/cm}^2$ となる。これより $P_{min}$ は1170tonとなり、これは芯ブレースの降伏荷重 $P_y = 48.5\text{ton}$ に対して十分に大きい。芯ブレースが降伏する前に、コンクリートとの隙間でこのような変形をする場合に必要な $\beta$ を逆算すると0.55ton/cm<sup>2</sup>となるが、これはNo. 1の $\beta$ の1/500以下であり、コンクリートが1/100の硬さのばねであると仮定しても、 $P_{min}$ が $P_y$ を下回ることはない。このように、コンクリートは鋼管内での芯ブレースの座屈を押えるのに十分な硬さを持っており、鋼管と芯ブレースの法線方向の変位を一致させるのに十分な材料であるといえる。

(b)の問題について、隙間の大きい芯ブレースの強軸まわりについて考えると、発泡スチロールの厚さを $d$ とすると、鋼管内部で芯ブレースが座屈した場合に加わる最大モーメントは図12に示すように $P_y \cdot d$ で表される。両側の隙間が大きくなるに従いこのモーメントは大きくなるが、本実験では $48.5\text{ton} \times 3\text{mm}$ で約15ton·cmとなり、これは鋼管の塑性モーメント $M_p$ (座屈を起こさなかった試験体のうち、 $M_p$ が最も小さいNo. 3でも $M_p = 240\text{ton} \cdot \text{cm}$ である)に対して十分に小さい。これより、芯ブレースが鋼管内部のがたによって変形したことにより鋼管に加わる曲げモーメントが、鋼管を降伏させたり、その座屈拘束効果を低下させる影響は無視できる。

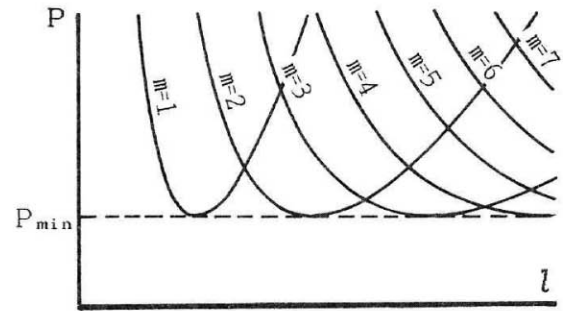
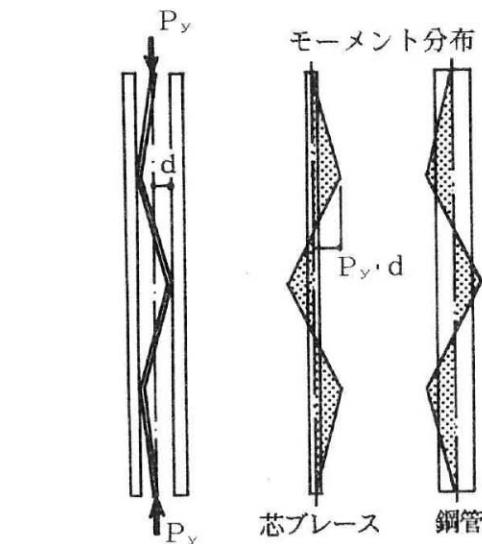


図11 弾性床の上の棒の座屈荷重



軸力の他に外力が加わっていないため、鋼管と芯ブレースのモーメントの和は材軸上で0である。

図12 芯ブレースの波打つ変形の影響

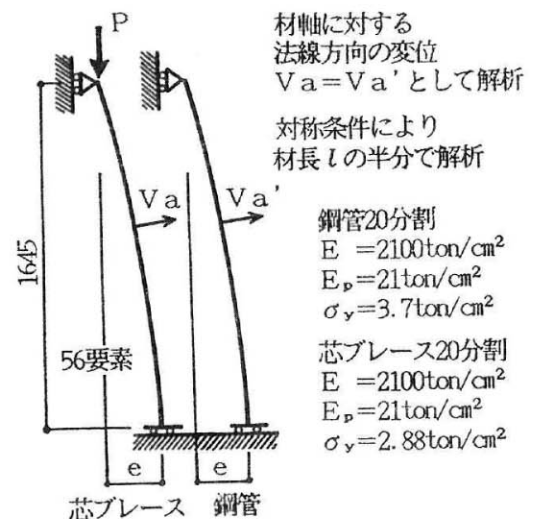


図13 座屈解析モデル

## 5. 解析

本論文で用いる非線形解析法は、既論文<sup>7)</sup>をもとに、鋼管コンクリートと芯ブレースの変形後の材軸に対して法線方向の変位のみを一致させ、接線方向には、各々独立して変形する合成材とする方法である。解析理論については、文献<sup>7)</sup>を参照にして戴きたい。解析の対象は、本実験におけるNo. 1、No. 2、No. 4の3例である。図13に示すように対称条件を用い、固定条件を一端固定他端自由とし、半分の  $l$  の164.5cmについて、56要素に等分割し解析した。芯ブレース、鋼管の各断面は20の小断面に分割して応力-ひずみ関係を追跡した。解析に用いた諸定数は図13に示してある。コンクリートは、バネの影響や耐力を無視して、芯ブレースと鋼管の法線方向の変位を一致させる効果のみ考慮した。

1) 鋼管のオイラー座屈荷重と、芯ブレースの降伏荷重の比による性状の違い (図14)。

[No. 1、No. 2、No. 4について比較、初期たわみ  $1/1000$ ]

鋼管の座屈荷重  $P_E$  が芯ブレースの降伏荷重  $P_Y$  より大きい No. 1 ( $P_E/P_Y = 3.53$ )、No. 2 ( $P_E/P_Y = 1.39$ ) は、鋼管の座屈拘束効果により、芯ブレースの降伏荷重で降伏しその後も安定した性状を示し、実験結果と一致した。また、芯ブレースのみが縮み鋼管部分に潜り込んでいく現象も再現できた。鋼管の座屈荷重が芯ブレースの降伏荷重よりも小さい No. 4 ( $P_E/P_Y = 0.75$ ) は、芯ブレースが降伏する前に 35.0ton で全体座屈を生じて耐力が低下した。端部の条件の違いや、コンクリートを考慮していないため、実験の座屈荷重 46.5 ton とは一致しないが、全体の座屈現象を概ね再現できた。

2) 鋼管と芯ブレースとの付着性状が及ぼす効果 (図15)。

[No. 2 と同断面、付着の有無について比較、初期たわみ  $1/1000$ ]

鋼管と芯ブレースの付着が完全にあるとした場合は、初期剛性が大きく最大荷重も高いが、座屈を起こし荷重が急激に低下する結果が得られた。一方付着がないものとして解析したものについては、1) にも示したように初期勾配も緩やかで最大耐力も小さいが、座屈を起こさずに降伏後も安定した性状が得られた。

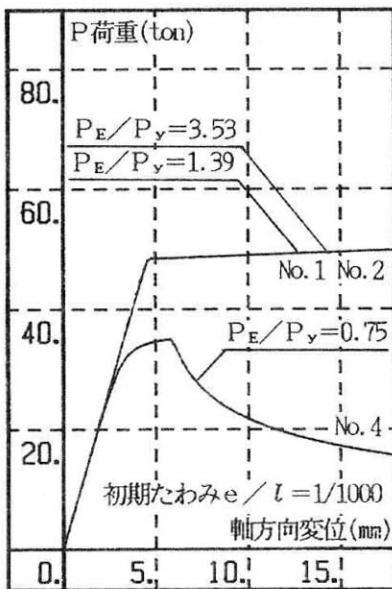


図14 解析結果 (1)  
 $P_E/P_Y$  による違い

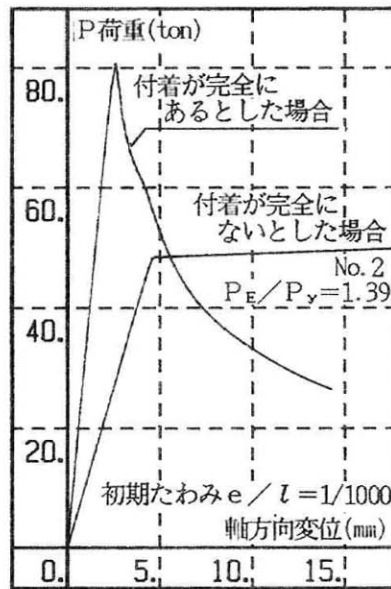


図15 解析結果 (2)  
付着力による違い

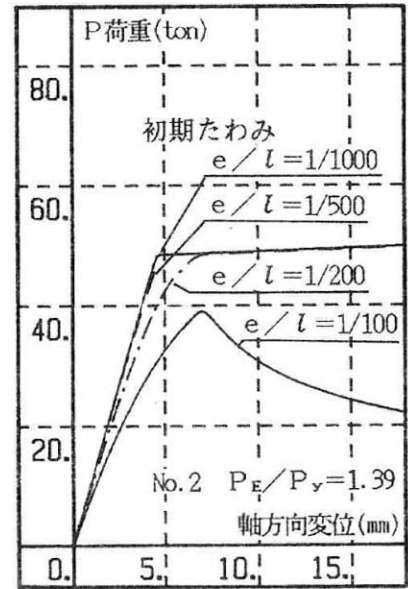


図16 解析結果 (3)  
初期たわみによる違い

### 3) 初期たわみによる影響 (図16)。

[No. 2 と同断面、初期たわみ1/1000、1/500、1/200、1/100について比較]

鋼管の座屈荷重が、芯ブレースの降伏荷重に近く若干大きい場合には、初期たわみの与える影響が大きい。この解析に用いた  $P_E/P_y = 1.39$  のときは、初期たわみが小さければ  $P_E/P_y$  が十分に大きい場合と同様に、芯ブレースの降伏荷重で降伏し、その後も全体座屈を起こさずに安定した履歴性状を示した。しかしながら、初期たわみが大きくなるに従って初期剛性が小さくなり、初期たわみが1/100の場合では芯ブレースが降伏する前に、座屈を起こし耐力が低下するようになる。

### 6. 座屈を拘束するために必要な $P_E/P_y$

初期たわみが全く無い場合には、芯ブレースが降伏しても、アンボンド加工されているため鋼管には軸力が作用せず弾性剛性を保持しているため、鋼管のオイラー座屈荷重が、芯ブレースの降伏荷重よりも少しでも大きければ、ブレースは全体座屈を起こさずに芯ブレースのみが降伏し、安定した履歴特性を得られる筈である。しかしながら、実際には初期たわみの影響等により座屈耐力が低下することが考えられる。

本実験を例にとれば、芯ブレースの寸法は19×90mmであり、両端ピンとした場合の自重による中央部でのたわみは19mmにも達し、材長3290mmに対して 1/174にあたる。実際の製作は垂直に立てて行なうため、これほどの初期たわみが生じることはないが、初期たわみが本ブレースの座屈に与える影響を考慮しておくべきである。

図17に示すように、中央での初期たわみ量を  $e$  とし、初期たわみを正弦波で与えると、有限変位を考慮し荷重  $P$  のときのたわみ  $v$  は (3) 式で表わせる。

$$v = \frac{e}{1 - \frac{P}{P_E}} \cos \frac{\pi x}{l} \quad (3)$$

中央の最大たわみ量  $V_0$ 、曲げモーメント  $M_0$  はそれぞれ、(4)(5)式で表わせる。

$$V_0 = \frac{P}{P_E - P} e \quad (4)$$

$$M_0 = \frac{P_E \cdot P}{P_E - P} e \quad (5)$$

鋼管の断面二次モーメントを  $I_k$ 、鋼管せいを  $D$  とすると、鋼管に生じる最大縁応力度  $\sigma_k$  は (6) 式で表わせる。

$$\sigma_k = \frac{P_E \cdot P}{P_E - P} e \cdot \frac{D}{2 I_k} \quad (6)$$

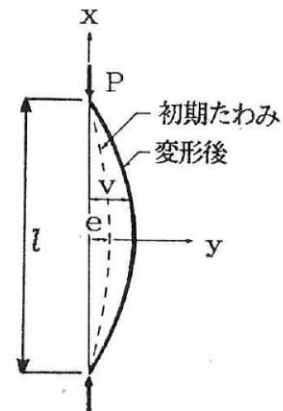


図17 初期たわみのあるブレース

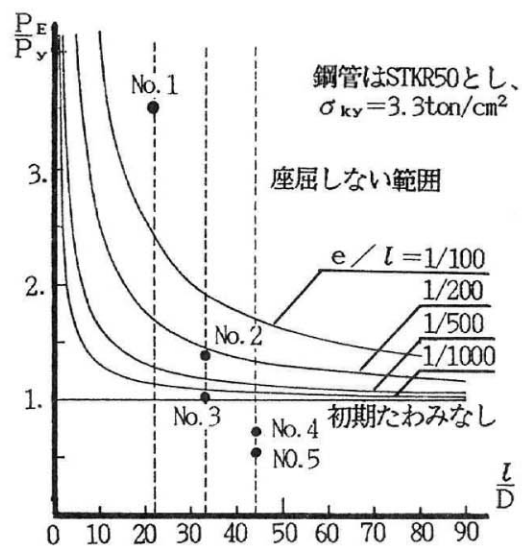


図18 ブレースの座屈しない条件

この $\sigma_k$ が鋼管の降伏応力度 $\sigma_{ky}$ より小さければ鋼管は降伏しないため、横変形の増加を鋼管の弾性剛性で抵抗でき、座屈を防止することができる。これより、芯ブレース材が降伏荷重 $P_y$ に達したときに、座屈しない条件として、(7)式のような座屈判定式を導くことができる。

$$\frac{P_E}{P_y} > 1 + \frac{\frac{\pi^2 E}{2 \sigma_{ky}} \cdot \frac{e}{l}}{\frac{l}{D}} \quad (7)$$

図18には(7)式の示す範囲を縦軸に $P_E/P_y$ 、横軸に $l/D$ をとり、5種の初期たわみ量に応じて示す。ここに示す5本の線は $\sigma_{ky}=3.3\text{ton/cm}^2$ 、初期たわみとして1/100、1/200、1/500、1/1000及び初期たわみ無しについて示してある。それぞれの初期たわみに対して、各線の右上が座屈しない領域である。これに、本実験の試験体をプロットした。No. 1は十分安全な領域に入っており、No. 2、No. 3はそれぞれ初期たわみが1/200、初期たわみ無しの線にほぼのっている。No. 4、No. 5は初期たわみが無くても座屈してしまう領域にあり、今回の実験でも座屈している。No. 3が座屈しなかったのは内部コンクリートの協同効果および材端条件が完全なピンでなかったことによると考える。

図18より、初期たわみを1/200まで許容した場合、今回の実験のNo. 2、No. 3に対応する $l/D=32.9$ として、 $P_E/P_y$ は1.5程度で十分であることになる。

## 7. 結論

本論文で述べたブレースは、実際にフレームに組み込まれ、材端に曲げモーメントによる影響をうけた場合にも、鋼管のオイラー座屈荷重が、芯ブレースの降伏耐力よりもある程度大きければ全体座屈しないことが分った。また、芯ブレースが降伏した後も、安定した履歴性状を示すことが分った。

実際の設計においては、芯ブレースの降伏荷重の1.5倍程度のオイラー座屈荷重を持った鋼管による被覆が必要となると考えられる。今回行なった実験においては鋼管内部のコンクリートも鋼管の曲げ剛性に寄与するため、 $P_E/P_y$ が1.03のNo. 3においても座屈を防止することができた。設計上、コンクリートの効果を考慮して鋼管の断面形、板厚を小さくすることも可能であるが、ここでは無視しコンクリートの効果は余剰的なものと考えた。

この方式によりブレース材の初期剛性・降伏耐力を、座屈問題と切り離して、圧縮、引張りともに芯ブレースの力学性状から決めることができ、フレームの大変形時にも安定した復元力特性を示すことが可能となる。また、芯ブレースが降伏した後も安定した挙動を示すため、これを履歴減衰として用いることも可能である。

## 謝辞

本実験を行なうにあたり、信州大学工学部建築学科 中込研究室、日本工業大学工学部建築学科 難波研究室の協力を得ました。各位に対し深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 木村耕三、竹本靖、武田寿一：プレキャスト耐震壁の実験的研究（その3）－鋼管およびモルタルで被覆したブレースの部材実験、日本建築学会関東支部研究報告集、昭和51年度、pp.257-260
- 2) 木村耕三、竹本靖、武田寿一：プレキャスト耐震壁の実験的研究（その4）－鋼管およびモルタルで被覆したブレースの部材実験、日本建築学会関東支部研究報告集、昭和51年度、pp.261-264
- 3) 望月重、村田義男、安藤信義、高橋春蘭：中心圧縮力を受けるアンボンドブレースの座屈に関する実験的研究（1）、（2）、（3）、（4）、日本建築学会大会学術講演梗概集〔構造系〕、昭和54年9月、pp.1623-1624、pp.1625-1626、昭和55年9月、pp.1913-1914、昭和57年10月、pp.2263-2264
- 4) 望月重、村田義男、安藤信義、高橋春蘭：RC被覆による鉄骨ブレース材の弾塑性性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和59年10月、pp.41-51
- 5) 若林實、中村武、榎原章雄、森菌哲郎、横山宏明：繰返し水平力を受ける絶縁ブレース内蔵のPC壁板の弾塑性性状に関する実験的研究（その1、基礎実験ならびに小型模型実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和48年10月、PP.1041-1042
- 6) 若林實、中村武、榎原章雄、森菌哲郎、宮田一実、小野哲郎、横山宏明：繰返し水平力を受ける絶縁ブレース内蔵のPC壁板の弾塑性性状に関する実験的研究（その2、大型実大実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和48年10月、PP.1043-1044
- 7) 藤本盛久、和田章、白方和彦、小杉立：筋違付鉄骨ラーメンの弾塑性解析に関する研究、日本建築学会論文報告集、第209号、昭和48年7月、pp.41-51