

論文

[2084] 軸鋼材を内蔵するコンクリートの圧縮性状に関する研究

正会員 ○宮内靖昌 (竹中工務店技術研究所)

正会員 東端泰夫 (竹中工務店技術研究所)

1. はじめに

本研究は、通常より断面積の小さなH形鋼(以下、軸鉄骨と略す)を内蔵するSRC柱の基本的な性状を把握するための実験的研究であり、軸方向鋼材量および横拘束筋量が、より高強度なコンクリート(360kg/cm²程度)を用いたSRC柱の圧縮性状に与える影響を、特に大変形時の保有強度に主眼を置いて検討したものである。コンクリートで拘束された鉄骨の座屈性状については、柴田等の研究¹⁾があり、鉄骨要素の局部座屈時の変形性能を検討している。しかし、コンクリートと鋼材に同時に圧縮力を載荷しておらず、共同して外力を負担するSRC柱の圧縮性状を把握するために、コンクリートと鋼材に同時に圧縮力を載荷することも重要であると考えられる。

一方、横拘束筋がRC柱の圧縮性状におよぼす影響については、筆者等も検討しており²⁾、横拘束筋は、囲型配筋が有効であることを明らかにした。従来のSRC柱では配筋不可能なこの囲型配筋の有効性を、断面積の小さな軸鉄骨内蔵のSRC柱で確認することにより、高強度コンクリートを用いたSRC柱の圧縮性状に対して、RC的な考察を試みることも本研究の狙いである。

2. 実験計画

2.1 試験体

試験体一覧を表1に示す。試験体は、以下に示す4つの因子とその水準を組み合わせた、軸鉄骨内蔵のSRC柱が20体、比較のためのRC柱が4体で、合計24体である。

- ①軸鉄骨の断面積 8.0cm² , 10.7cm² , 0cm²(RC柱)の3水準
- ②コンクリート強度 240kg/cm² , 360kg/cm²の2水準
- ③横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ 12.8~92.1kg/cm²の5水準
- ④横拘束配筋法 口型と囲型の2水準

なお、軸鉄筋は全試験体とも共通で、12-D10とした。

試験体の形状は、20cm x 20cmの正方形断面、高さはその3倍の60cmである。試験体の形状および配筋を図1に示す。なお、試験部分は高さ中央の40cm部分とした。

試験体には、粗骨材に20mm以下の碎石を用いた普通コンクリートを使用し、またSS41材の鋼板を軸鉄骨に、SD30のD10を軸鉄筋に、焼き入れ鋼線3.2φ、SD30相当のD6、および高強度鋼線5φを横拘束筋に使用した。

2.2 加力・計測方法

実験は300ton試験機を用いて圧縮力を載荷した。軸方向変位は、試験体の試験部分両端に埋め込んだボルトを用いて測定し(実験結果には表裏2ヵ所の平均値を用いた)、

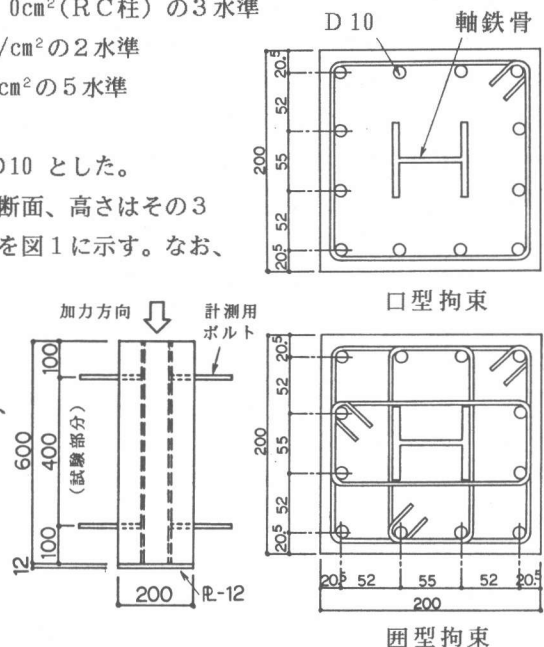


図1 試験体の形状および配筋

また、軸鉄骨および軸鉄筋にはそれぞれ高さ中央部の表裏にひずみゲージを貼り付け、軸ひずみを計測した。

荷重は、各使用材料の短期許容応力度を単純累加した値で1回除荷し、その後単調加力して試験体の軸ひずみ度で3%程度まで載荷した。

3. 実験結果

3.1 使用材料の特性

コンクリート：コンクリートは大ひずみ時の性状を確認するために、図2に示すような装置を用いて載荷した。試験結果の概要を図3に示す。試験結果より次のことが判明した。

- a)二種類のコンクリートの圧縮強度(σ_B)の平均値(各6本ずつ)は、250, 350kg/cm²であった。
- b)最大強度時のひずみは、高強度コンクリート($\sigma_B=350\text{kg/cm}^2$)が10%程度大きかった。
- c)高強度コンクリートの強度低下は激しく、ひずみ0.3%以降の強度は低強度コンクリートとほぼ同等となった。

鋼材：H形鋼を構成する3.2, 4.5, 6.0mm厚さの鋼板と軸鉄筋のD10、および横拘束筋の3.2 ϕ , D6, U5 ϕ の各鋼材の引張試験結果を表2に示す。なお、軸鋼材については、引張試験より圧縮特性を推定することにした。

3.2 試験体の破壊経過

各試験体に共通する破壊経過は以下のようであった。すなわち、①試験体上部の断面コーナー部に縦ひび割れが発生した、②試験体高さ中央部のコンクリート表面に圧壊が見られた、③圧壊が急激に進行して、表面コンクリートがはく落し、全体降伏点(図5参照)に達した、④横拘束が十分なものは、軸ひずみが增大してもコアコンクリートは健全であった。なお、最終破壊時には、図4中の一点

表1 試験体一覧

試験番号	軸鉄骨(1)		コンクリート強度 σ_B (kg/cm ²)		横拘束筋 (配筋法)(2) (下段: Pw · σ_{wy})					
	A	B	250	350	3.2 ϕ @25 (2)	3.2 ϕ @25 (1)	D6 @50 (2)	D6 @50 (1)	U5 ϕ @35 (1)	U5 ϕ @50 (1)
1	○		○		○					
2	○		○			○				
3	○		○					○		
4	○		○							○
5	○		○						○	
6	○		○		○					
7	○		○			○				
8	○		○				○			
9	○		○					○		
10	○		○							○
11		○	○		○					
12		○	○			○				
13		○	○					○		
14		○	○							○
15			○							○
16		○	○		○					
17		○	○			○				
18		○	○				○			
19		○	○					○		
20		○	○						○	
21			○			○				
22			○						○	
23			○			○				
24			○						○	

(1) 軸鉄骨断面 A: H-68x68x4.5x6 B: H-68x68x3.2x4.5
 (2) 横拘束配筋法 1: 囲型 2: 口型

表2 鋼材の引張試験結果

	鋼材(プレート)		鉄筋		
	降伏応力度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (kg/cm ²)	降伏応力度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (kg/cm ²)	
6	2677	2.12X10 ⁶	D10	4105	1.95X10 ⁶
4.5	3056	2.07X10 ⁶	D6	3967	2.06X10 ⁶
3.2	2848	2.07X10 ⁶	U5 ϕ	8154	2.22X10 ⁶
			3.2 ϕ	4010	2.14X10 ⁶

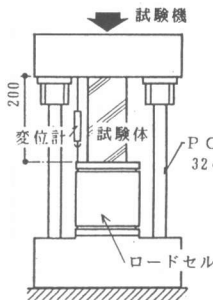


図2 コンクリート試験装置

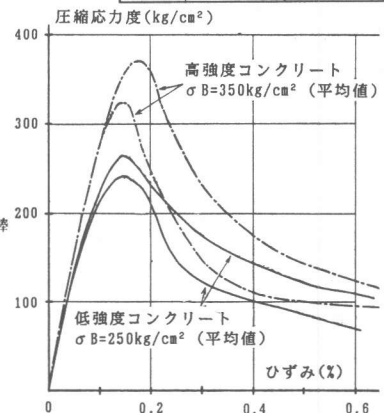


図3 コンクリートの圧縮試験結果

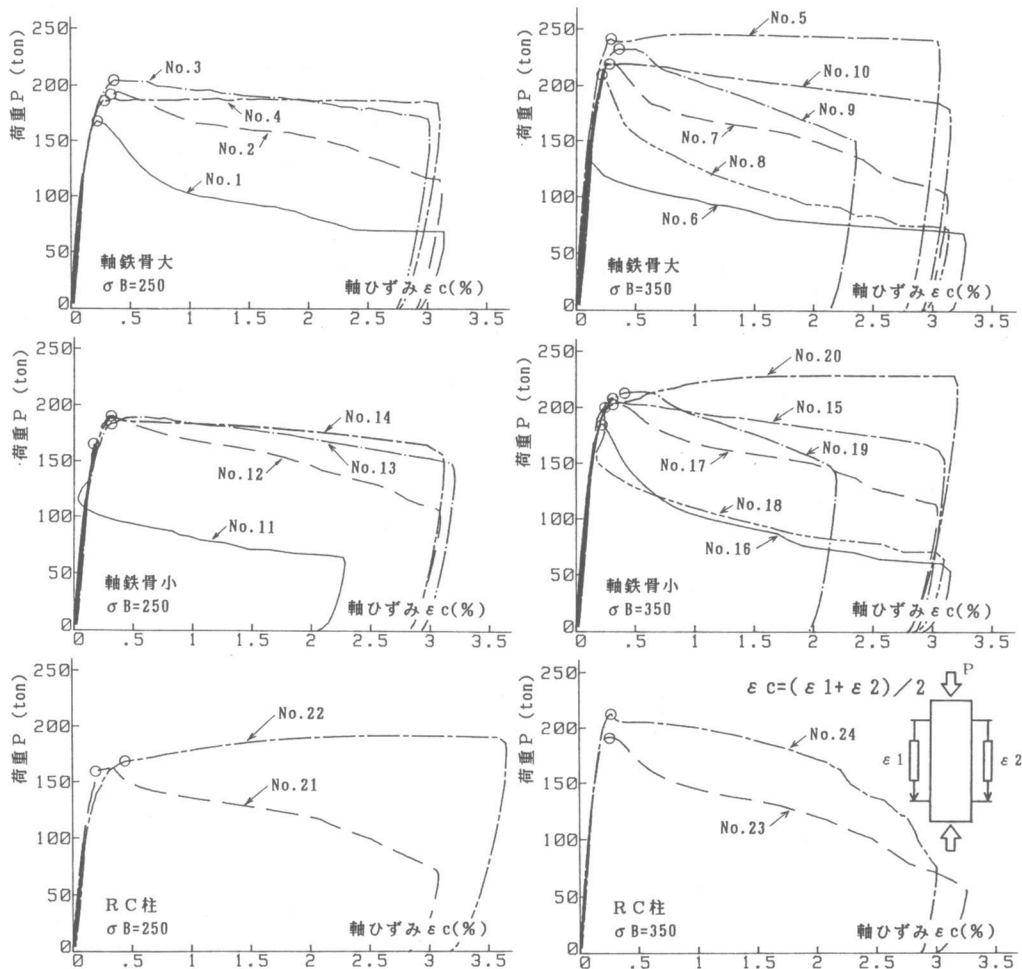


図5 荷重-軸ひずみ曲線

○: 全体降伏点

鎖線で示すように、コアコンクリートを斜めに横切るすべり破壊面が観測できるものが多かった。

3.3 荷重-軸ひずみ関係

圧縮荷重Pと試験部分の平均軸ひずみ ϵ_c との関係を図5に示す。図は、全試験体を軸鉄骨の種類とコンクリート強度別に6グループに層別して示した。また、図中には目視により、剛性が急激に低下し曲線の曲率が最大となる点（以後、全体降伏点と定義する）を示した。P- ϵ_c 関係は、軸鉄骨断面積、コンクリート強度、横拘束筋量により大きく影響されることが認められた。

3.4 荷重-軸鉄骨のひずみ関係

軸鉄骨のひずみ測定値 ϵ_s と圧縮荷重Pとの関係の一例を図6に示す。それによると、耐力低下の急激な試験体では、全体降伏点（最大耐力と一致）に達するとともにひずみが急増した。こ

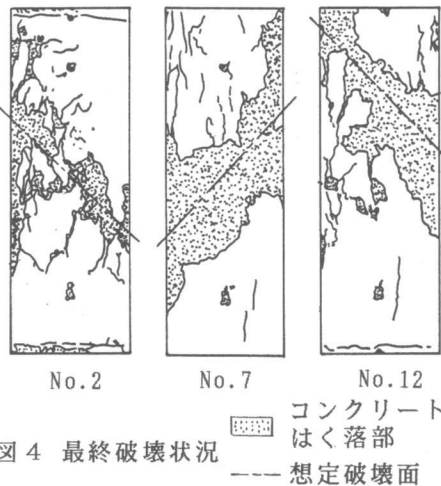




図4 最終破壊状況

 コンクリートはく落部
 想定破壊面

れに対して、耐力低下の生じない試験体では、軸鉄骨の降伏ひずみ以後も荷重は増大し、試験体の軸ひずみ 0.4%程度 of 全体降伏点に達するとともにひずみが急増した。しかしながら、コンクリートが十分に横拘束されていれば、軸鉄骨が降伏ひずみに達した後も荷重は低下しないことが示された。

4. 実験結果の考察

4.1 コンクリートの負担応力度の算出

軸鉄骨および軸鉄筋の圧縮性状をバイリニアールと仮定し（引張試験結果を使用）、試験体の各軸ひずみ時における鋼材負担強度を圧縮荷重 P より引いてコンクリートの負担強度 P_c を算出した。さらに P_c をコンクリートのみの断面積で除して負担応力度 σ_c を求めた結果の一例を、図7に示す。この図は、軸鋼材が大変形時までそれぞれの降伏強度を保持すると仮定したものであり、軸鋼材に座屈が生じていれば、コンクリートの負担応力度を過小評価することになるが、それは座屈に対する拘束効果の評価を考慮したことになる。図より、コンクリートの負担応力度 σ_c は横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ の影響を受けることが認められた。

4.2 各軸ひずみ時の負担応力度の検討

全体降伏時、および軸ひずみ $\varepsilon_c = 1, 2, 3\%$ 時のコンクリートの負担応力度 $\sigma_{cy}, \sigma_{c1}, \sigma_{c2}, \sigma_{c3}$ をコンクリート強度 σ_B で無次元化し、横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ との関係求めて図8に示す。図より以下のことが判明した。

- ①全体降伏時のコンクリート負担応力度 σ_{cy} は、コンクリート強度、軸鋼材量の影響を受けるが、横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ との関係は明確ではない。
- ②軸ひずみ ε_c が大きくなるに従い、コンクリー

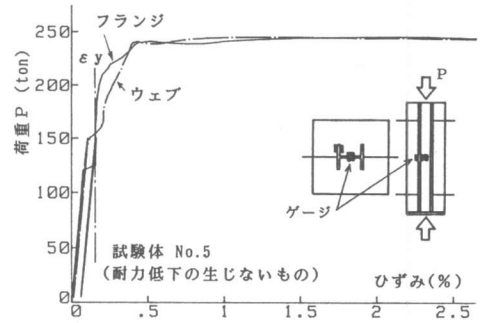
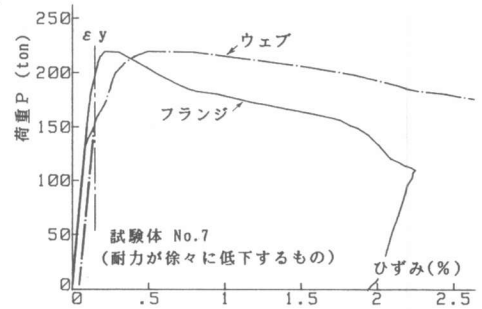
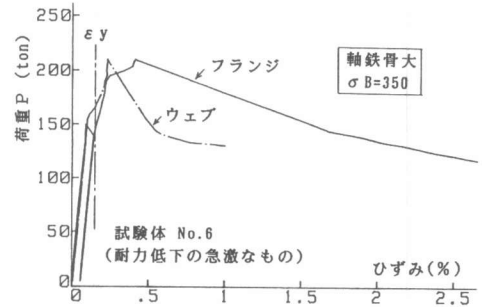


図6 荷重-軸鉄骨のひずみ曲線

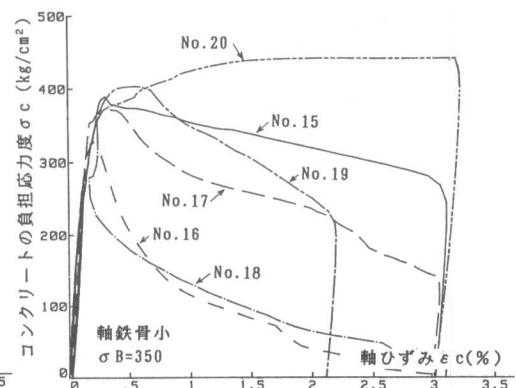
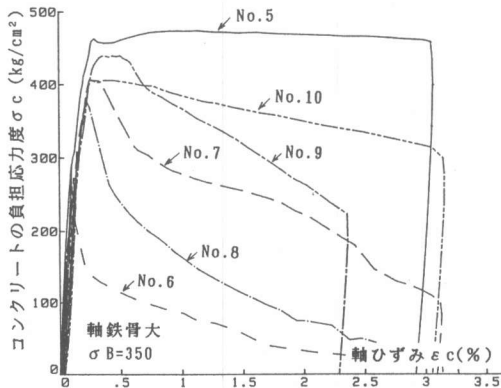


図7 コンクリート負担応力度-軸ひずみ曲線

トの負担応力度 σ_c に対する横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ の影響は増大する。

- ③横拘束筋が中子のない口型配筋の場合は、大変形時にコンクリートの負担力を期待できない。
- ④大変形時のコンクリート負担応力度を向上させるためには、横拘束筋を囲型配筋とし、かつコンクリート強度に対応した横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ としなければならない。
- ⑤大変形時のコンクリート負担応力度は、軸鋼材が多いと若干向上する。

また、試験体の軸ひずみ3%時のコンクリートの負担応力度 σ_{c3} と横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ との関係をそれぞれコンクリート強度 σ_B で無次元化して図9に示す。両者には明確な相関性があり、図中に示した回帰式が得られた。

5. 大変形時の抵抗機構

各試験体の最終破壊状況を観察すると、コンクリートに斜めのすべり破壊面が発生しているものが多かった(図4参照)。このことから、大変形時の保有強度を以下の3つの抵抗機構の累加(1式)と考え、実験値との比較検討を行なった。

- ①破壊面に沿ったコンクリートの摩擦力に基づくコンクリートの負担軸力 P_c
- ②軸鋼材による負担軸力 P_s
- ③軸鋼材の破壊面に沿ったダボ力 P_{dc}

5. 1 保有強度の算定

上記3つの抵抗力は、それぞれ以下の仮定を設けて算定した。

- ①コンクリートの負担軸力 P_c は、破壊面を横切る横拘束筋の降伏強度によって破壊面に生じる摩擦力の角度成分とした(2式、

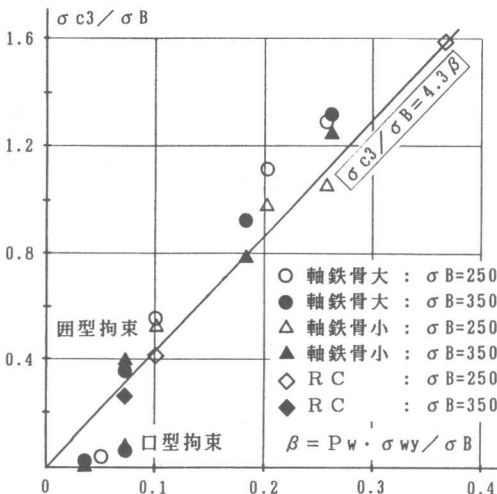


図9 コンクリート負担応力度と横拘束強度の関係(2)

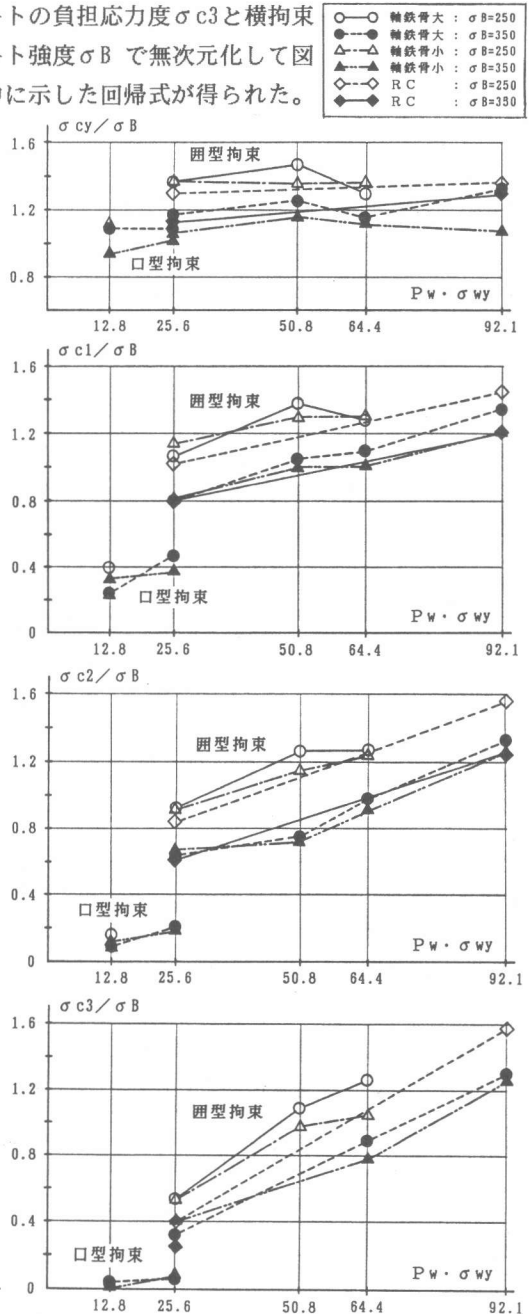


図8 コンクリート負担応力度と横拘束強度の関係(1)

図11参照)。なお破壊面の角度は実験結果より45°とし、また、面圧縮力に対する摩擦係数はA.C.I.規準式によった。

②軸鋼材による負担軸力 P_s は、実験結果の考察と同様に、大変形時も材料の降伏強度を保持するものとした(3式)。

③軸鋼材の破壊面に沿ったダボ力 P_{dc} は、鉄筋と鉄骨の断面積に比例した力を負担するものとして、スタッド式を用いた(4式)。

5.2 実験結果と計算値の対応

実験値と計算値との関係を図10に示す。図より、提案した大変形時の保有強度推定法は、軸ひずみ度が約3%時点での実験値を捕らえる簡便な手法であると考えられることができる。

6. 結論

比較的断面積の小さな軸鉄骨を内蔵するSRC柱の純圧縮性状を確認するため、軸鋼材量、コンクリート強度、横拘束筋量を因子とする実験を行い、以下の結論を得た。

- ①コンクリートを横拘束筋で十分に拘束すると、軸鉄骨の塑性ひずみが増大しても強度低下しない。
- ②横拘束筋は、口型配筋より囲型配筋が大変形時での強度保有性能の向上に有効である。
- ③軸鋼材の負担軸力を除去したコンクリートのみの負担軸応力度推定値 σ_c に関して以下の考察ができる。
 - (a)全体降伏点におけるコンクリートの負担軸応力度と横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ の関係は明確ではない。
 - (b)軸ひずみ度が1%、2%、3%での保有強度を検討した結果、軸ひずみ度が増加するに従い、保有強度に与える横拘束強度 $P_w \cdot \sigma_{wy}$ の効果が明確となる。
 - (c)コンクリート強度 σ_B の影響は σ_c/σ_B に対して $P_w \cdot \sigma_{wy}/\sigma_B$ を因子とすれば、ほぼ把握することができる。
- ④コンクリートの破壊面を仮定し、単純な軸力抵抗機構を想定することで、軸ひずみ度3%時点の保有強度をほぼ推定することができる。

以上、限られた因子と水準による検討であるが、軸鉄骨を内蔵するSRC柱の純圧縮性状を、大変形時の保有強度に主眼を置き把握することができた。

参考文献 (1) 柴田他：「コンクリートで拘束された鉄骨の座屈」 昭和62年日本建築学会大会C pp1179-1180。

(2) 東端他：「高じん性壁柱に関する実験的研究 その1」 昭和63年日本建築学会大会C pp613-614。

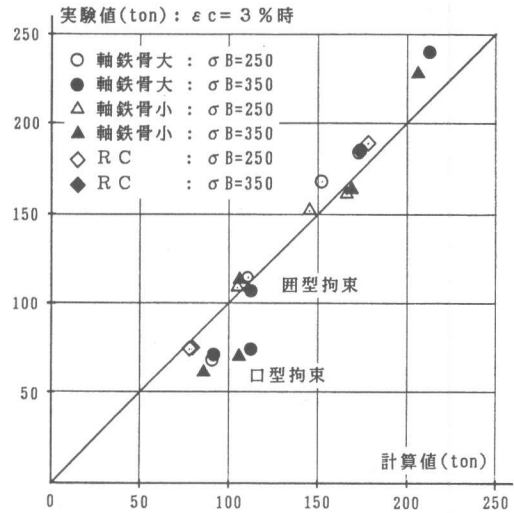


図10 保有強度算定結果

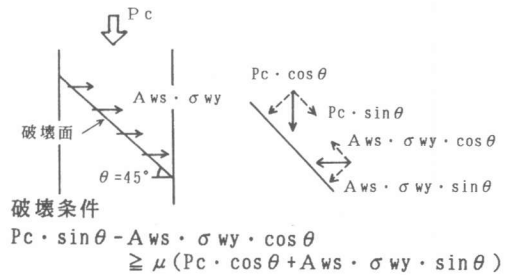


図11 コンクリートの摩擦抵抗

$$P = P_c + P_s + P_{dc} \quad (1)$$

$$P_c = (1 + \mu) \cdot A_{ws} \cdot \sigma_{wy} / (1 - \mu) \quad (2)$$

$$P_s = \sum A_s \cdot \sigma_{sy} \quad (3)$$

$$P_{dc} = 0.35 \cdot A_s \sqrt{\sigma_B \cdot E_c} \quad (4)$$

ここで、 P : SRC柱の保有強度

μ : 摩擦係数 (=0.6)

A_{ws}, σ_{wy} : 破壊面を横切る横拘束筋の断面積、降伏応力度

A_s, σ_{sy} : 軸鋼材の断面積、降伏応力度

σ_B, E_c : コンクリートの圧縮強度、ヤング率(試験結果のそれぞれ0.1倍とする)