

論文

[2162] 充てん型角形鋼管コンクリート部材の合理的な材質の組合せ

正会員 中野 清司 (東京電機大学建築学科)

正会員 立花 正彦 (東京電機大学建築学科)

福元 敏之 (鹿島建設技術研究所)

正会員 ○ 印出井太郎 (鹿島建設構造設計部)

1. はじめに

充てん型鋼管コンクリート構造は鋼管の拘束によりコンクリートの耐力上昇及びじん性の増大、また、コンクリートの充てんにより鋼管の局部座屈及び全体座屈の阻止、耐火性能の向上及び鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造に比べて省力化が図れる等の長所をもつことなどからここ数年活発に研究が行われている¹⁾。一方、構造材料に関する研究も進み、鋼材では降伏強度の高い高張力鋼及び高性能鋼が開発され、またコンクリート材料においても1000kgf/cm²から2000kgf/cm²級の高強度コンクリートが開発されている。

そこで、当研究は充てん型鋼管コンクリート部材の設計において、上記材料の合理的な組合せを把握する基礎資料を得るため、鋼管、コンクリートの材質の組合せおよび鋼管比が耐力に及ぼす影響について、軸方向力 (軸力比) を変化させ、曲げモーメント～曲率 (以下M-φと略す) 関係の数値計算によって検討したものである。

2. 解析方法

2-1. 仮定断面と解析パラメータ

鋼管の断面形状は図1に示すような正方形断面の角形鋼管□-400x400とする。解析パラメータは表1に示すように、鋼管の板厚は6~22mm (鋼管比 $sP=5.9\sim 20.8\%$, $B/t=18\sim 66$) において5水準、鋼材の材料強度は2.4~8.0tf/cm²において4水準、コンクリート強度は210~800kgf/cm²において5水準とする。設定軸力としては部材の曲げ変形能力を確保できる圧縮力の限度を示すとされている日本建築学会のSRC造規準の制限軸力 $N_{cr} (=bDFc/3 + 2sA \cdot s\sigma_y/3)$ および中立軸位置が部材断面中央に位置する時つまり部材断面における最大曲げモーメント時の軸力 $N/bDFc=0.4$ (圧縮コンクリートブロック形状により0.4とした) とする、さらに特異の作用軸力として $N/bDFc=0.0$ の場合の3水準とする。

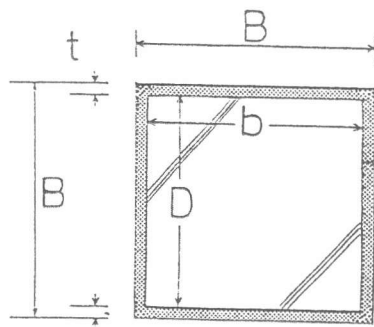


図1. 断面形状

表1. 解析パラメータ

項 目	パラメータ
鋼材の板厚(t) (巾厚比 D/t)	6, 9, 12, 19, 22 mmの5水準 (66, 44, 33, 21, 18)
鋼材の降伏点($s\sigma_y$)	2.4, 3.3, 5.0, 8.0tf/cm ² の4水準
コンクリート強度(F_c)	210, 270, 400, 600, 800kg/cm ² の5水準
設定軸力(N)	0.0, 0.4bDFc, N_{cr} の3水準

$$N_{cr} = bDFc/3 + 2sA \cdot s\sigma_y/3$$

b, D : コンクリート断面の巾とせい sA : 鋼管の断面積

2-2. 計算方法

部材断面の $M-\phi$ 関係は断面の平面保持および各素材の応力度～ひずみ度関係の仮定を用いて、部材断面を分割しその各分割単位内のひずみ度は一様として、断面の軸方向力及び中立軸に関する曲げモーメントの釣り合いより求めた。鋼材は座屈等の不安定現象を起こさず、その応力度～ひずみ度関係は完全弾塑性とした。

コンクリートの素材は富井他^[2]の研究

によって鋼管の巾厚比を考慮して、図2の通りとする。つまり、 $B/t \leq 24$ ではコンクリートの強度低下なしとし、 $24 < B/t < 44$ では、 $0.005 < c\varepsilon < 0.015$ 間で直線的に強度低下し、 $c\varepsilon \geq 0.015$ では一定値となるものとする。 $B/t \geq 44$ では、上記 $B/t=44$ の場合と同じとした。なお、 $24 < B/t < 44$ 間での強度低下は直線区間とした。

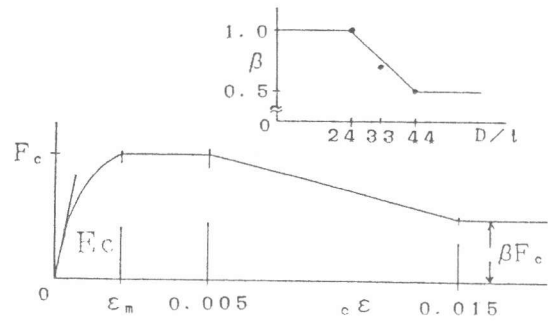


図2. コンクリートの応力度～ひずみ関係

3. 解析結果と考察

3-1. $M-\phi$ 関係

代表的な $M-\phi$ 関係をパラメータ別に図3に、またこれら曲線の縦軸をその部材の最大曲げモーメントで、横軸を断面のせい（ B ）でそれぞれ無次元化した曲線を図4に示す。

柱軸力 $N/bDF_c=0.0, 0.4$ では材質の組合せ及び B/t にかかわらず、耐力低下は生じない。また、初期剛性も材質の組合せおよび B/t にかかわらず同じである。

$N=N_{cr}$ では、 B/t が大きな断面ではコンクリートの応力～ひずみ関係の仮定より耐力低下を生じる。 B/t が小さな断面では耐力低下は生じない。また、初期剛性は $F_c=800\text{kgf/cm}^2$ を使用した場合には鋼材の降伏点にかかわらず同じであるが、 $F_c=210\text{kgf/cm}^2$ を使用した場合には鋼材の降伏点が高くなるほど初期剛性は低下する。これは鋼材の降伏点の増大により N_{cr} が増大し、コンクリート強度が小さいため早期に圧縮強度に達するためと考えられる。このことより、 N_{cr} では鋼材の降伏点とコンクリート強度の組合せにより、高い初期剛性を期待することができない場合もある。さらに $N=N_{cr}$ では、材質の組合せ状態によっては sMp より小さな耐力しか保持できない場合がある。

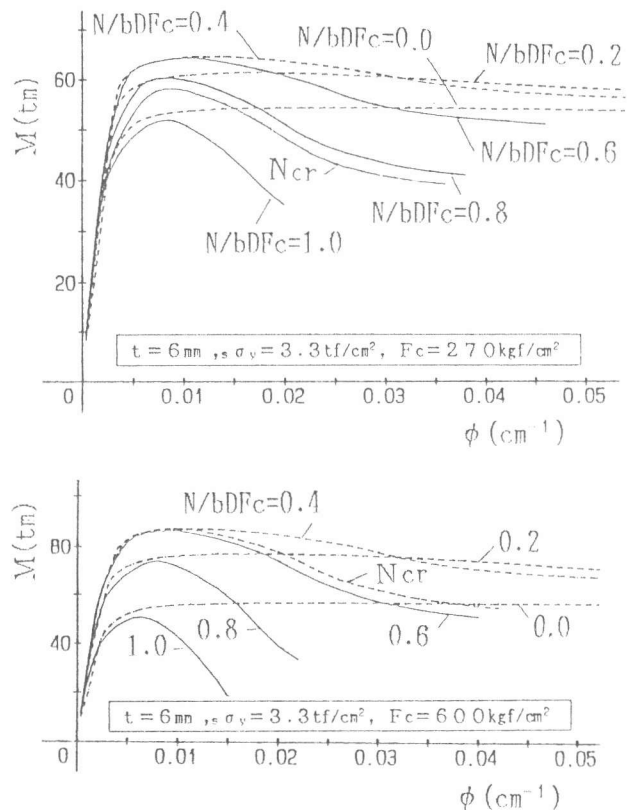


図3(a). 柱軸力比による $M-\phi$ 関係

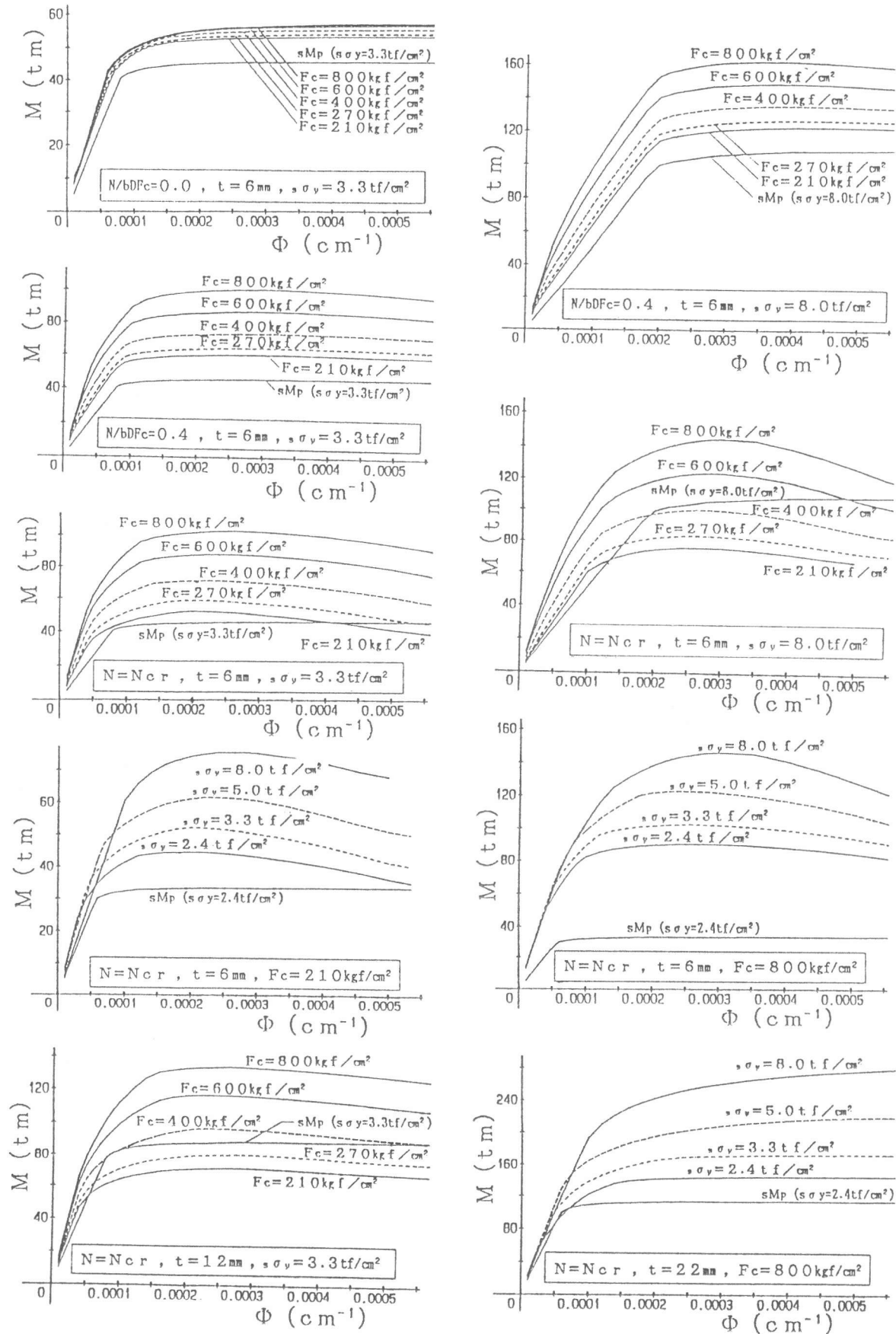


図3(b). パラメータ別曲げモーメント～曲率関係

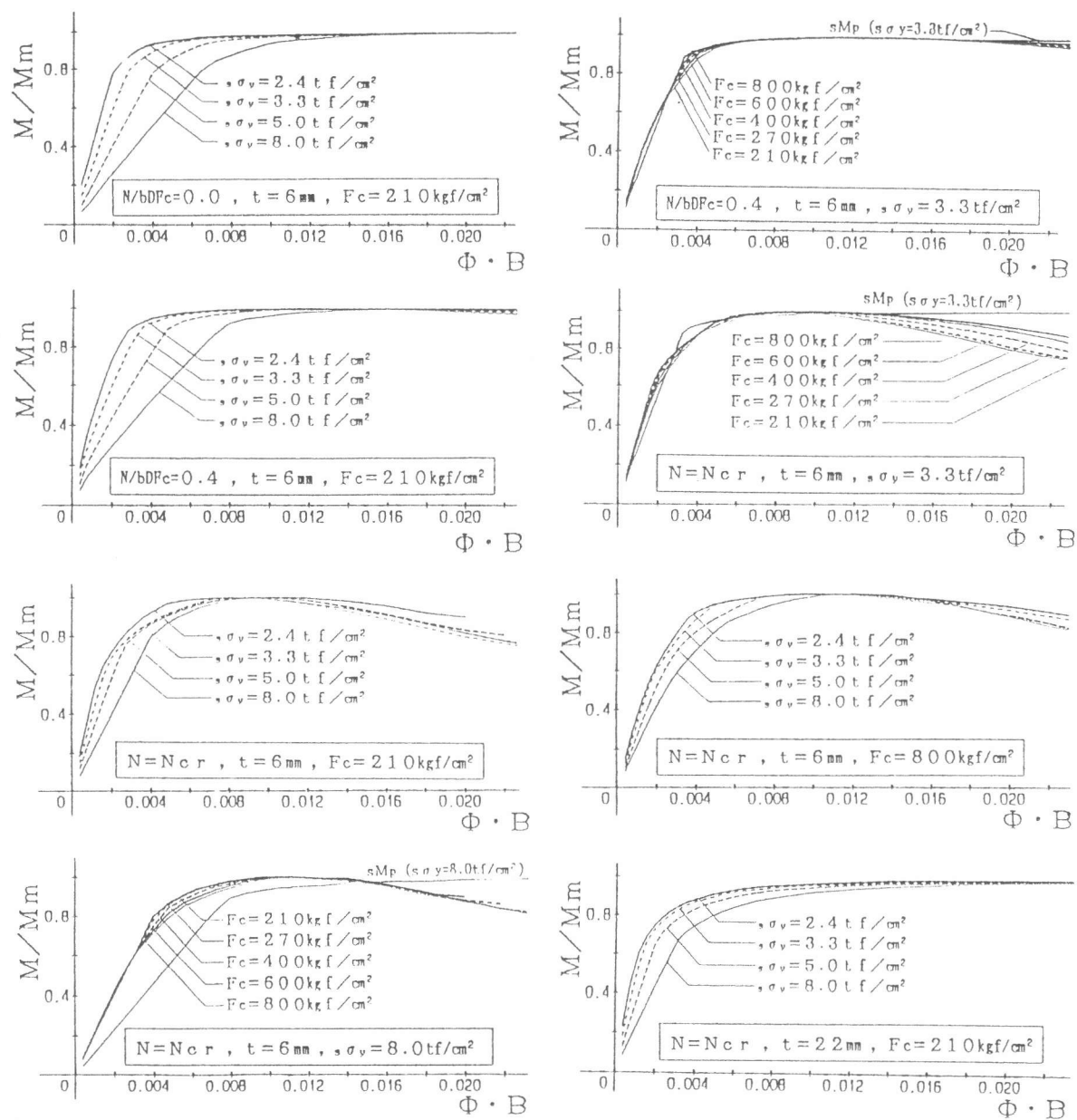


図4. パラメータ別無次元化した曲げモーメント～曲率関係

図4より、最大曲げモーメント以後の耐力低下状況は柱軸力 $N/bDFc=0.0$, 0.4 および N_{cr} ともに、材質の組合せによる大きな相違は認められなく、その耐力低下の割合は小さい。本研究で取り扱った一番高軸力の N_{cr} の最大曲げモーメント時の曲率 ϕ_m は材質の組合せにかかわらずほぼおなじであり、また耐力が1割程度低下した時点の曲率 ϕ_p も材質にかかわらずほぼ同じ曲率を示す。これら曲率は純鋼管部材の降伏曲率 $s\phi_y$ ($N=0.0\text{tf}$, $s\sigma_y=3.3\text{tf/cm}^2$) に比べてほぼ4～6倍程度であり、ある程度の塑性変形能力を有しているものと考えられる。

3-2. 材質の組合せによる耐力変化

材質の組合せによる耐力変化状況の代表例をパラメータ別に図5に示す。縦軸は最大曲げモーメントを鉄骨のみの全塑性モーメント sMp にて無次元化した値である。

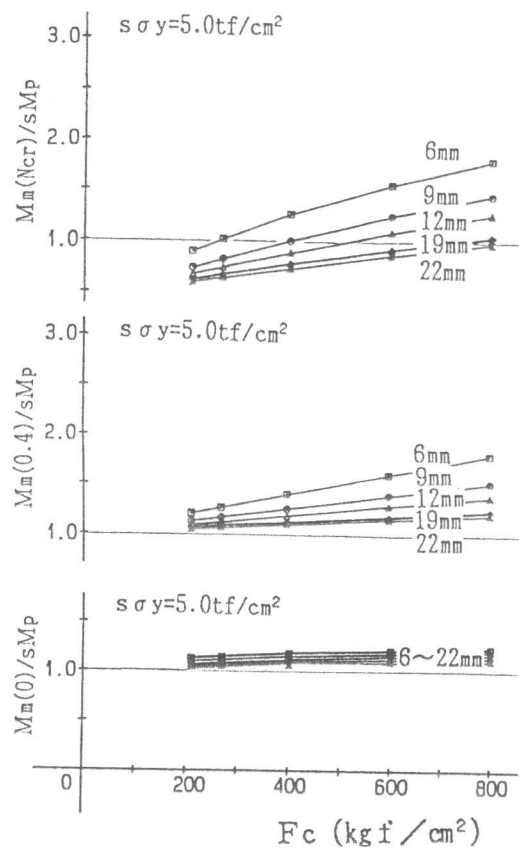
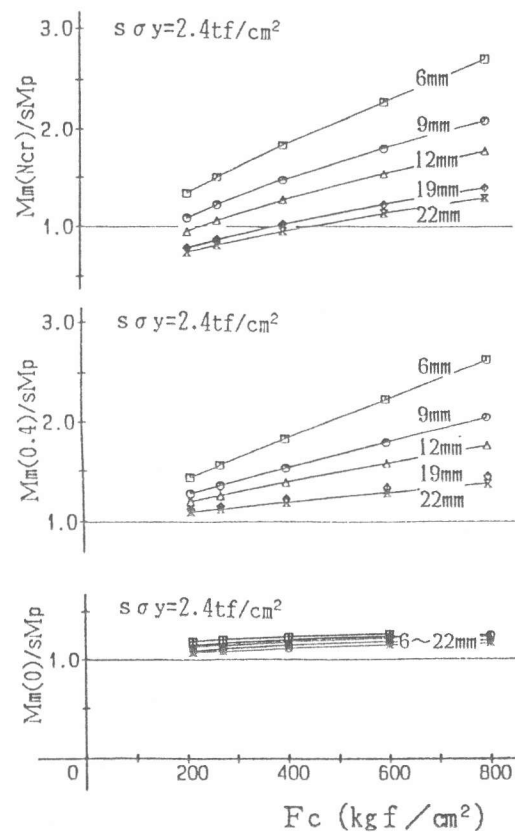
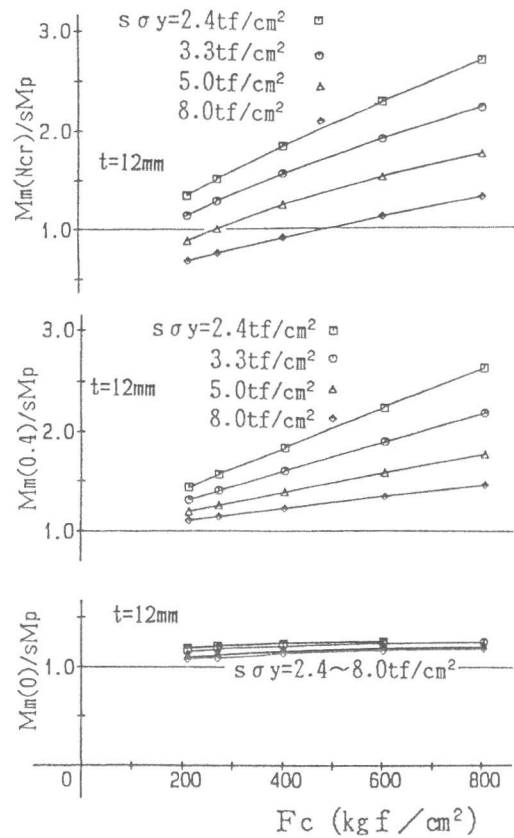
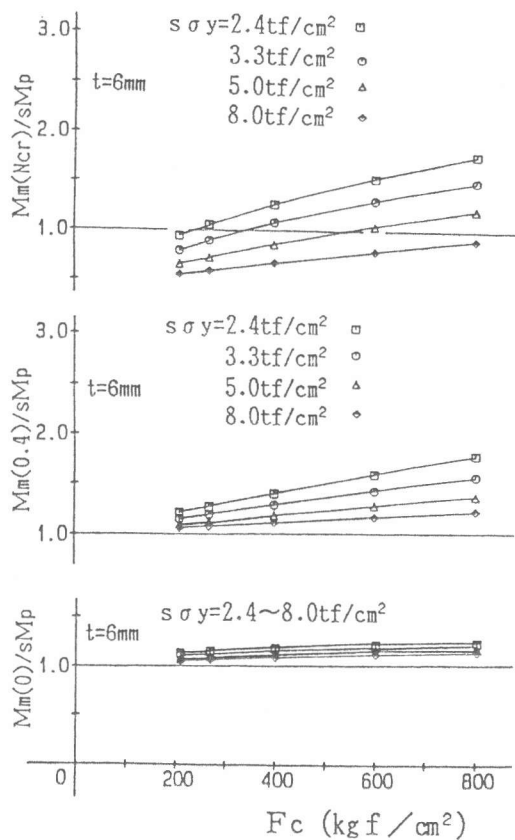


図5. パラメータ別材質の組合せによる耐力変化状況

柱軸力 $N/bDF_c=0$ の場合は鋼材質、鋼材量及びコンクリート強度を高くしても、 sMp に対する上昇率は小さく、1.1~1.2程度である。

$N/bDF_c=0.4$ の場合は、鋼材量が少なく、また鋼材の降伏点が低い程コンクリート強度が高くなれば sMp に対する上昇率は高くなる。

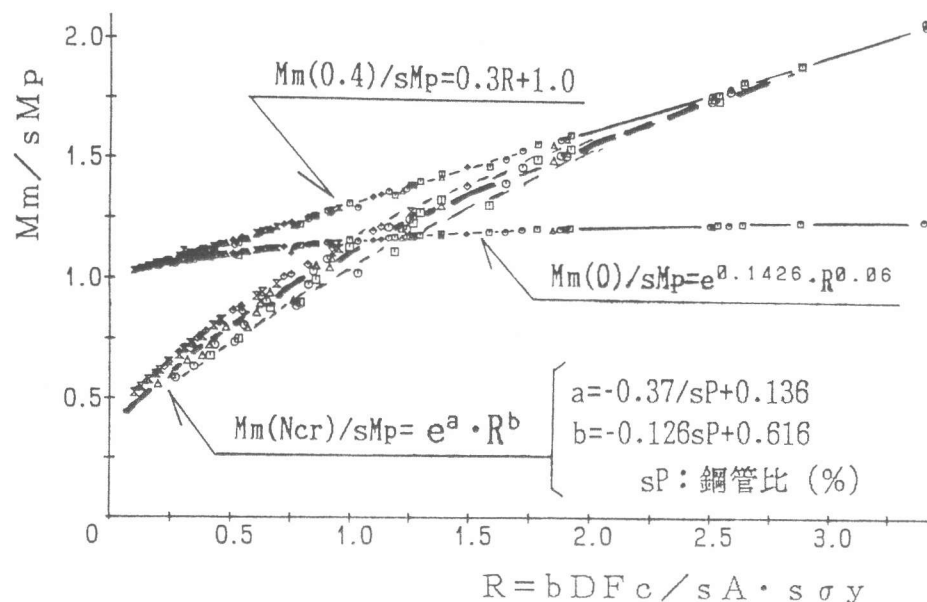


図6. 各柱軸力の Mm/sMp と耐力比 R との関係

$N=N_{cr}$ の場合は $N/bDF_c=0.4$ の場合と同様の傾向を示すが、材質の組合せによっては sMp を下回るものがある。

以上の各柱軸力において、耐力比 R との関係を図6に示す。この図より、柱軸力 $N/bDF_c=0.0$ の時は材質の組合せにかかわらず耐力比 R との関係で図6に示される式にて表される。 $N/bDF_c=0.4$ でも、 $N/bDF_c=0.0$ の場合と同様、材質の組合せにかかわらず耐力比 R と直線の関係で同図に示す式にて表される。 $N=N_{cr}$ ではほぼ $R=1$ で sMp の耐力を保持し、 $R<1$ では小さく、 $R>1$ では sMp より大きな耐力を保持し、 $R>2.0$ では、 $N/bDF_c=0.4$ の耐力とほぼ一致してくる。 $N=N_{cr}$ の耐力は図7に示す様に鋼材量 $P (= A/B/D \times 100\%)$ によって相違し、図6に示す係数にて同図に示す式にて表される。

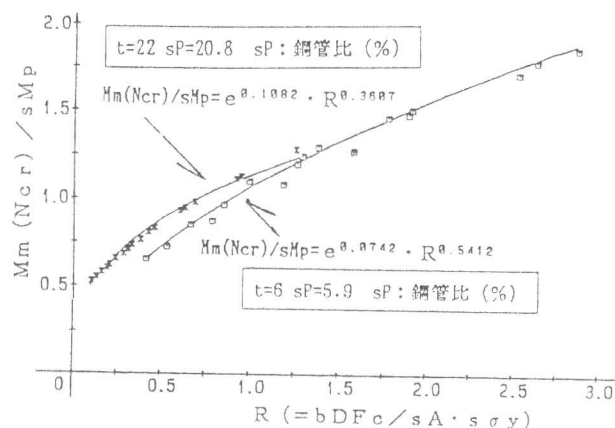


図7. 鋼管比による $Mm(Ncr)/sMp$ と R との関係

4. まとめ

充てん型鋼管コンクリート部材断面の軸方向力を変化させた曲げモーメント～曲率関係の計算より、鋼管とコンクリートの材質の組合せによる部材耐力への影響は、耐力比 $R=bDF_c/sA \cdot sy$ によって整理され、軸力比 $N/bDF_c=0.0$ の場合は耐力比によって耐力はほとんど変化しないが、 $N/bDF_c=0.4$ 、 N_{cr} の軸力が作用する場合は、耐力比が増加すると耐力上昇が高くなることなどが明らかとなり、合理的な組合せを把握するための基礎資料を得ることができた。

参考文献

- 1) 平成元年度「ハイブリット構造技術に関する調査研究報告書」財団法人 日本建築センター、1990.3
- 2) Tomii, M., Sakino, K., "ELASTO-PLASTIC BEHAVIOR OF CONCRETE FILLED SQUARE STEEL TUBULAR BEAM-COLUMNS," Transactions of the Architectural Institute of Japan, No. 280, June, 1979