

(株)大林組貯蔵地下工P.T. ○谷口 勝 東京瓦斯(株) 正会員 高橋行茂
 (株)大林組技術研究所 正会員 大内 一 (株)大林組技術研究所 正会員 三浦律彦

1. はじめに

近年高強度コンクリート高強度鉄筋の建設材料への適用の機運が高まっている。しかしながら現行RC示方書¹⁾では、400kgf/cm²を超える高強度コンクリートの適用については特に規定がない。本研究は高強度コンクリート($f_{ck}'=600\text{kgf/cm}^2$) 高強度鉄筋(SD50)を用いた鉄筋コンクリート梁部材での曲げ実験を実施し、その力学的性状を把握検討し、示方書の高強度部材への適用性を検討することを目的とした。

2. 実験概要

代表的な試験体寸法配筋を図-1に、試験体一覧を表-1に示す。試験パラメータはコンクリート設計基準強度($f_{ck}'=300, 600\text{kgf/cm}^2$), 鉄筋強度(SD35, SD50)である。引張主筋量は全て $p_t=0.46\%$ (4-D19)である。コンクリートの配合を表-2に示す。普通強度配合のセメントには普通ポルトランドセメントを使用した。また高強度配合のセメントには、マスコンクリート構造物への適用を考えると、超低発熱性の低熱スラグセメントを使用した。高強度配合では水セメント比低減の目的で高性能AE減水剤を使用した。

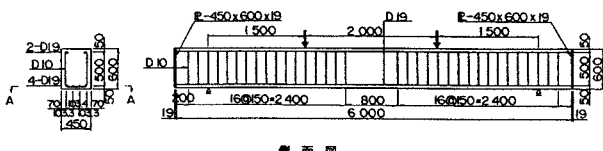


図-1 供試体寸法配筋

表-1 曲げ試験体一覧

試験体名	コンクリート		主筋			せん断補強筋		
	設計基準強度(kgf/cm ²)	セメントの種類	径・量	品質	鉄筋比 P _t (%)	径・量	品質	鉄筋比 P _w (%)
MN-35-300-46-21	300	NP	4D19	SD35	0.46	D10 @150	SD35	0.21
MN-35-600-46-21	600	LSC	4D19	SD35	0.46	D10 @150	SD35	0.21
MN-50-600-46-21	600	LSC	4D19	SD50	0.46	D10 @150	SD50	0.21

NP:普通ポルトランドセメント LSC:低熱スラグ

加力方法は単純梁形式の2点載荷であり、支間5m, 純曲げ区間2mで単調載荷とした。

3. 実験結果

3.1 コンクリートの応力-ひずみ関係

図-2に圧縮試験で得られた応力-ひずみ関係の一例を示す。図中には曲げ実験の解析に用いた軟化域を伴う²⁾Fafitis-Shah式³⁾と示方書提案式を合わせて示す。

$$\text{Fafitis-Shah式: } \sigma = f_c' \times \{1 - (1 - \epsilon / \epsilon_m)^A\} \quad \text{---(1)}$$

$$A = E_c \times \epsilon_m / f_c' \quad \text{ただし } \epsilon < \epsilon_m$$

f_c' : 圧縮強度

ϵ_m : 応力-ひずみ関係で f_c' に対応するひずみ

上式の ϵ_m については、圧縮試験で得られた応力-ひずみ関係に最も適合する値を最小2乗法により求めた。示方書式については0.2%ひずみとした。図より示方書提案式は実験結果との対応が十分でなく、Fafitis-Shah式が良好な予測を与えることが分かる。

表-2 配合表

試験体名	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 ϵ_s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				減水剤 C * %	
			水 W	セメント C	砂 S			
					粗砂	細砂		
MN-35-600-46-21	32.0	37.1	170	531	357	237	1037	2.0
MN-50-600-46-21	32.0	37.1	170	531	357	237	1037	2.0
MN-35-300-46-21	53.8	44.5	161	289	494	329	1055	0.35

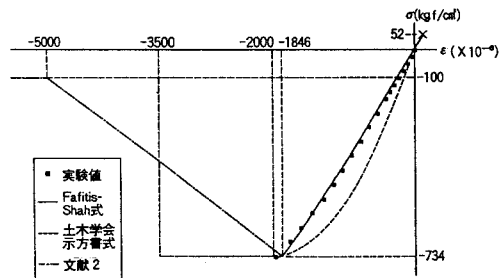


図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係 (MN-35-600-46-21, 現場養生)

3.2 破壊性状 図-3に全試験体の最終ひび割れ図を示す。全試験体とも曲げ引張破壊で耐力が決定した。これらの破壊性状は用いる主鉄筋の強度(SD35, SD50)が違ふ為最大荷重が異なるMN-35-600-46-21とMN-50-600-46-21でせん断ひび割れの成長に若干の差異が見られる以外はほぼ同様である。ひび割れ間隔やひび割れ長さ、最終破壊パターンについて高強度と普通強度

部材に特別な差異は観られない。

3.3 諸荷重 表-3に諸荷重一覧を示す。

ここに計算値とは示方書に基づき算定した値で、鉄筋のひずみ硬化は考慮されていない。一方解析値のコンクリート応力-ひずみ関係は図-2に示すFafitis-Shah式と文献2のモデルを用い、鉄筋はひずみ硬化域まで考慮した。曲げ変形が十分大きくなる為、ひずみ硬化を考慮することは特に最大荷重の予測の為に必要である。計算及び解析変位については曲率の積分により求めた。なお試験体は自重の影響を受けている為荷重、変位ともその影響を考慮して実験結果と比較した。曲げひび割れ荷重については全試験体とも実験、計算、解析値はほぼ一致する。ここに引張強度は、次式に示すように示方書に定められる曲げ引張強度に更に寸法効果を考慮して求めた。

$$f_b = 0.9f_c \cdot l^{2/3} \quad \text{--- (2)}$$

$$f_{bs} = f_b (h/15)^{-1/4} \quad \text{--- (3)}$$

ここに f_b : コンクリートの曲げ引張強度(kgf/cm²)

f_{bs} : 寸法効果を考慮したコンクリートの曲げ引張強度(kgf/cm²) h : 試験体高さ(cm)

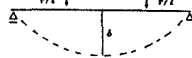
降伏荷重についてはその一致は更に良好である。降伏変位については、SD50を用いたMN-50-600-46-21を除き良好な一致を示す。計算、解析値とも平面保持則を用いた曲げ理論に基づくものであり、本試験体については高荷重でありせん断ひび割れの成長が大きいことも一つの原因と考えられよう。

最大荷重については鉄筋のひずみ硬化を無視した計算値を実験値は2割程度上回る。一方これを考慮した解析値との一致は比較的良好である。 表-3 諸荷重一覧(曲げ破壊試験)

試験体名	曲げひび割れ荷重 (tonf)			降伏荷重 (tonf)			降伏変位 δ_v (mm)			最大荷重 (tonf)			最大変位 δ_{max} (mm)	塑性率 δ_{max}/δ_v
	実験値	計算値 (実/計)	解析値 (実/解)	実験値	計算値 (実/計)	解析値 (実/解)	実験値	計算値 (実/計)	解析値 (実/解)	実験値	計算値 (実/計)	解析値 (実/解)	実験値	実験値
MN-35-300-46-21	9.0	10.8 (0.83)	11.6 (0.78)	30.1	29.8 (1.04)	29.6 (1.02)	13.3	12.5 (1.06)	13.0 (1.02)	38.7	31.5 (1.17)	42.6 (0.88)	169.6	12.7
MN-35-600-46-21	16.0	16.2 (0.99)	16.3 (0.98)	30.9	32.3 (0.96)	30.1 (1.03)	13.9	12.0 (1.16)	12.8 (1.09)	40.4	32.7 (1.24)	44.1 (0.92)	262.3	18.9
MN-50-600-46-21	12.0	15.0 (0.80)	16.5 (0.73)	45.9	46.7 (0.98)	46.3 (0.99)	23.3	18.7 (1.25)	19.4 (1.20)	56.9	48.9 (1.16)	61.0 (0.93)	162.2	7.0

荷重: 全鉛直荷重P

変位: 中央部変位 δ



コンクリート	主筋(D19)
f_c (kgf/cm ²)	f_{sy} (kgf/cm ²) f_{su} (kgf/cm ²)
MN-35-300-46-21	448 4,110 5,770
MN-35-600-46-21	743 4,110 5,770
MN-50-600-46-21	675 6,190 8,180

3.4 変位挙動 図-4に全試験体の荷重-変位関係と代表的試験体の解析値(MN-35-600-46-21)を比較して示す。

解析は降伏後ひずみ硬化域での予測が十分でない。ひび割れ部分とひび割れ間部分での付着力の介在による不均一な分布を一樣に扱った解析仮定がその差異を生み出していると思われる。

4 まとめ 曲げ降伏荷重について示方書に従った計算値は良好な精度で実験結果を予測できる。最大荷重については、実験値は鉄筋のひずみ効果を考慮していない計算値を2割程度上回る。従って、示方書に従えば安全側の設計を行うことになる。

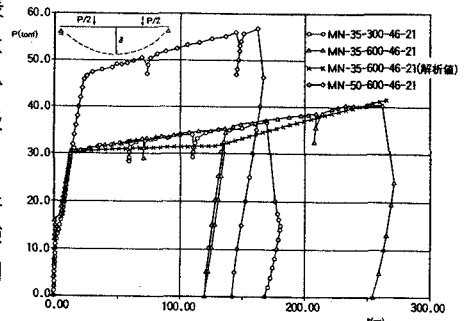


図-4 荷重-変位関係(梁中央点)

1) 土木学会: 昭和61年制定コンクリート標準示方書設計編

2) (財) 国土開発技術センター: 平成元年度高強度鉄筋分科会報告書

3) Fafitis, A. and Shah, S.P.: Lateral Reinforcement for Highstrength Concrete Columns, ACI Special Publication, No. SP-87, pp. 213 ~232, 1985