

鉄筋コンクリート部材のモーメントと曲率の関係について

東北大学 学生員 ○阿部美紀也

東北大学 正会員 鈴木 基行

東北大学 学生員 近藤 哲臣

1. まえがき 本研究は、鉄筋コンクリート構造物の限界状態設計法の確立の為に明確にしなければならぬ諸性質のうち、塑性インジ領域における諸性状とその回転限界、及び部材の靱性について、鉄筋コンクリート矩形単純梁を対象として実験的に調べることを目的としたものである。これらの諸性状は種々の要因により影響を受けると考えられるが、本実験では特に、コンクリート圧縮強度(f_c')、主鉄筋比(ρ), 横方向拘束筋量(ρ_v)を変動要因として取り上げてみた。

2. 実験概要 (1) コンクリート及び鉄筋 コンクリートの目標圧縮強度は、200, 300 kg/cm^2 の2種とし、鉄筋は、主鉄筋にSD35、横方向拘束筋、スターラップにSR24 $\phi 9$ を用いた。

(2) 供試体 寸法はすべて同一(スパン150cm; 断面16×22cm、有効高さ18cm)とし、スパン中央断面には梁が左右対称に変形するよう深さ1cmのノッチを入れた。支点は両端とも可動支承である。図-1に供試体寸法配筋の一例を示す。なおせん断スパンには、せん断破壊が生じないように腹鉄筋を十分配置した。

(3) 載荷装置及び試験方法 載荷は2点対称載荷とし、最大耐力以降まで安定して測定できるように、図-2に示したように変形制御用のバネ(バネ定数約1 ton/cm)4本を配置し、供試体と同時に載荷した。また載荷速度は、断面降伏まではスパン中央のたわみが2mm/分、降伏後は2mm/分となるようにした。なお、供試体のたわみをスパン中央と曲げスパン両端にセットした変位計で、コンクリート圧縮領域及び主鉄筋の歪を貼付したストレインゲージにより、測定した。

3. 実験結果及び考察 表-1に実験結果の一覧を示す。靱性率 μ は、たわみ測定値から差分法により求めた降伏時及び終局時の曲率(ϕ_u, ϕ_m)の比で与えられ、平均塑性回転量 ϕ_m は、曲げ区間内で一様の塑性回転が生じると仮定して求めた値である。また、 U_{exp} は梁の単位長さ当たりの吸収エネルギーの実験値($M-\phi$ 曲線の囲む面積)を示し、 U_{cal} は $M-\phi$ 関係を完全弾塑性体と仮定して求めた計算値($U_{cal} = M_u(\phi_u - \phi_y)$)を示す。

(1) 曲げモーメントと曲率の関係について 図-3に $M-\phi$ 関係の一例を示す。これには、コンクリート及び鉄筋の応力-歪曲線を図-4のように仮定して求めた値もプロットしてある。断面降伏までは実験値と計算値がよく一致しているが、それ以後は実験値の方が曲げ耐力が大きい。これは鉄筋の歪硬化によるものであろう。また横方向拘束筋がない場合は、鉄筋指数 β の増加と共に部材降伏後の耐力の増加が少なくなり、最大耐力以後の減少傾向が顕著になることがわかる。

鉄筋指数 β 梁の性状を表わすのに便利な物理量であり、次式で定義される。

$$\beta = \rho f_y / f_c' \quad \text{： 単鉄筋断面}$$

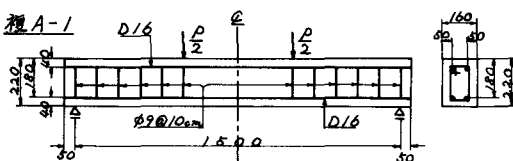
$$\beta = (\rho f_y - \rho' f_y') / f_c' \quad \text{： 複鉄筋断面}$$


図-1 供試体寸法・配筋例

(単位 mm)

○ 図A-2 では曲げスパン内に横方向拘束筋が入る

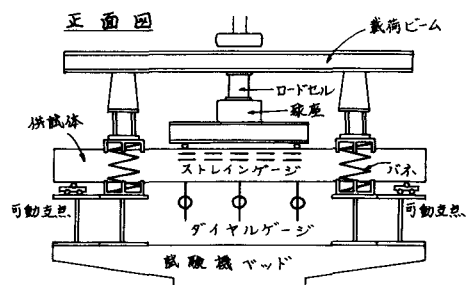


図-2 載荷装置の原理図

(2) 塑性回転量、吸収エネルギー、靱性について

複鉄筋断面の梁は、塑性回転量、吸収エネルギー、靱性率いずれも単鉄筋断面の梁より大きい。またいずれの断面とも横方向拘束筋がない場合、鉄筋指数が大きい程これらの諸量が小さくなるが、拘束筋を入れることにより改善されることがわかる。特に複鉄筋断面の場合には、圧縮鉄筋の屈服長さを制御する上でも、横方向拘束筋の効果には大きいものがあるだろう。また両断面とも、鉄筋指数が小さい程横方向拘束筋の効果が大きいこともわかった。コンクリート強度については、その増加が塑性回転量、吸収エネルギー等の大きな増加に結びつかないことがわかるように、鉄筋指数や横方向拘束筋に比べて、与える影響は小さいようである。

4. あとがき 本実験で取り上げた要因の他には、鉄筋の降伏強度、せん断力の有無とその大きさ、梁の有効高さ、供試体寸法、載荷速度等が考えられる。部材の挙動の全体的な把握の為には、これらについての検討も必要であろう。

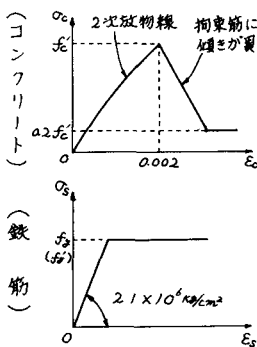


図-4 計算用 応力-歪曲線

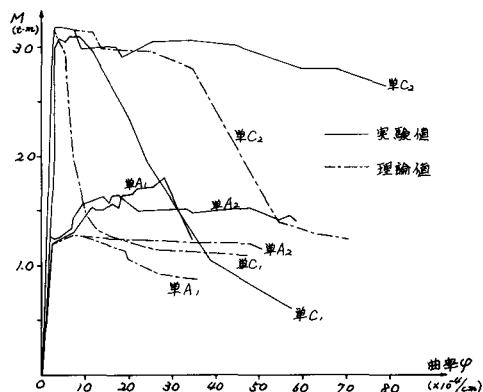


図-3 単鉄筋 A, C における M-φ 関係

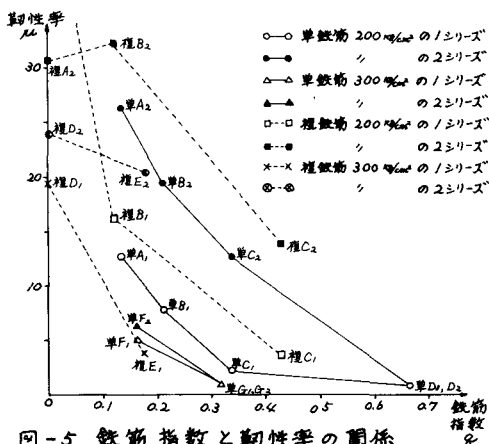


図-5 鉄筋指数と靱性率の関係

表-1 実験結果一覧表

供試体 番号	引張主鉄筋 鉄筋種類	引張主鉄筋 鉄筋比 P(%)	圧縮主鉄筋 鉄筋種類	圧縮主鉄筋 鉄筋比 P'(%)	横方向拘束筋 鉄筋種類	横方向拘束筋 鉄筋比 P'(%)	コン クリート 強度 f _c (MPa)	鉄筋 指数 ρ	抵抗 曲げ モーメント M _p -cal (kg-m)	抵抗 曲げ モーメント M _p -act (kg-m)	終局 曲げ モーメント M _u -act (kg-m)	M _u -act M _p -cal	曲率 による 靱性率 μ = M _u -act / M _p -cal	吸収 エネルギー U _{cal} (kg-cm)	吸収 エネルギー U _{exp} (kg-cm)	平均 靱性率 μ _{av}	横方向 拘束筋 同量率 1/40の Q _{av} の増加 (act/10%)
単A-1	1D16	0.52	—	—	—	—	19.1	0.136	1.242	1.225	1.850	1.51	13.21	49.1	41.2	63.8	—
単A-2	—	—	—	—	φ9-8cm	—	13.6	—	—	1.285	1.555	1.21	26.44	74.2	73.4	117.0	39.0
単B-1	2D16	1.04	—	—	—	—	24.9	0.209	2.360	2.376	2.855	1.20	7.80	31.7	29.3	35.1	—
単B-2	—	—	—	—	φ9-12.5cm	—	0.87	—	—	2.393	2.689	1.12	19.65	66.1	67.2	59.0	37.9
単C-1	2D19	1.52	—	—	—	—	22.0	0.338	3.093	3.120	3.130	1.00	2.22	21.1	20.7	11.9	—
単C-2	—	—	—	—	φ9-5.5cm	—	1.98	—	—	3.189	3.107	0.97	12.89	103.6	103.2	80.0	34.3
単D-1	2D25	2.93	—	—	—	—	19.1	0.673	3.305	4.467	4.467	1.00	1.00	—	8.2	—	—
単D-2	—	—	—	—	φ9-6.25cm	—	1.75	—	—	4.588	4.588	1.00	1.00	—	10.3	—	—
単F-1	2D16	1.04	—	—	—	—	32.2	0.162	2.429	2.505	2.890	1.15	5.17	29.4	29.7	22.7	—
単F-2	—	—	—	—	φ9-8.35cm	—	1.31	—	—	2.435	3.020	1.26	6.36	40.4	36.4	30.6	6.0
単G-1	2D22	2.07	—	—	—	—	32.7	0.318	4.313	4.270	4.533	1.06	1.14	8.7	8.7	11	—
単G-2	—	—	—	—	φ9-10cm	—	1.09	—	—	4.064	4.377	1.08	1.13	11.9	13.1	14	3
複A-1	2D16	1.04	2D16	1.04	—	—	20.6	0	2.295	2.332	3.224	1.38	46.52	172.1	161.1	132.0	—
複A-2	—	—	—	—	φ9-10cm	—	1.09	—	—	2.337	3.261	1.40	30.74	117.3	107.5	88.5	—
複B-1	2D19	1.52	2D16	1.04	—	—	18.7	0.119	3.135	3.251	3.470	1.07	16.38	154.2	151.5	107.6	—
複B-2	—	—	—	—	φ9-16.6cm	—	0.66	—	—	3.247	3.870	1.19	32.37	255.3	242.5	162.5	83.6
複C-1	2D25	2.93	2D16	1.04	—	—	17.7	0.431	4.879	4.596	4.910	1.07	4.04	21.4	21.8	9.4	—
複C-2	—	—	—	—	φ9-12.5cm	—	0.87	—	—	4.746	4.710	0.99	13.96	133.2	134.9	68.1	67.3
複D-1	2D16	1.04	2D16	1.04	—	—	29.7	0	2.382	2.363	2.801	1.19	19.85	163.7	160.6	142.3	—
複D-2	—	—	—	—	φ9-10cm	—	1.09	—	—	2.364	3.120	1.32	24.19	135.3	123.0	106.1	—
複E-1	2D22	2.07	2D16	1.04	—	—	28.6	0.180	4.380	4.439	4.940	1.11	4.25	47.2	45.4	20.7	—
複E-2	—	—	—	—	φ9-12.5cm	—	0.87	—	—	4.627	4.752	1.03	20.99	246.4	241.7	126.5	121.2