

V-52

鉄筋のダウエル作用の力学モデルに関する研究

北海道大学 正員 古内 仁

北海道大学 正員 角田 与史雄

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造の耐荷挙動の解析的研究においては、コンクリートおよび鉄筋の非線形性はもとより、鉄筋とコンクリートの共同作用や界面挙動のモデル化も重要な問題である。鉄筋のダウエル作用はその問題の一つであり、構造物の挙動を極めて複雑にしている要因となっている。本研究は、ダウエル作用の変形性状を詳細に調べ、それらをもとに非線形挙動に対する力学モデルをつくり、破壊のメカニズムを明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

本研究における実験では、Krefeld¹⁾ らに準じた供試体を用いた。この供試体は図-1に示すように、はりの中央部に斜めひびわれを想定した人工ひびわれを作製し、それが鉄筋を横切る部分でダウエル力 D が作用するように、人工ひびわれ上端に載荷 (P_1) を行った。ただし、 D は鉄筋1本あたりのものとし、 $D = P_1/4$ である。また、人工ひびわれは骨材の摩擦を取り除くため、1mm厚のプラスチック板2枚の間にグリースを塗布して形成した。

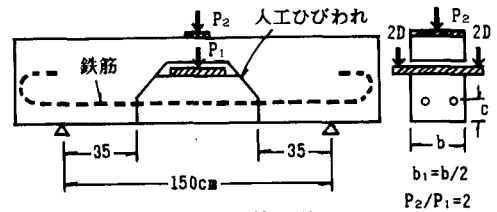


図-1 供試体形状

表-1 供試体寸法

No.	ϕ (mm)	b_1 (cm)	c (cm)	$f_{c'}$ (kgf/cm ²)
01	16	7.5	5.0	319
02	16	5.0	8.0	285
03	16	5.0	5.0	298
04	16	5.0	3.0	314
05	16	10.0	3.0	308
06	16	10.0	5.0	320
07	16	10.0	3.0	360
08	10	10.0	5.0	288
09	10	7.5	8.0	322
10	10	7.5	5.0	315
11	10	7.5	3.0	320
12	10	5.0	5.0	341
13	22	5.0	5.0	296
14	22	7.5	5.0	330
15	22	7.5	8.0	329
16	22	7.5	3.0	322
17	22	10.0	5.0	334

供試体本数は表-1に示す17本で、変数としたパラメータは鉄筋径 ϕ 、鉄筋1本当たりの断面幅 b_1 および底面かぶり厚 c とした。また、ダウエル作用による鉄筋の変形を調べるため、人工ひびわれが鉄筋を横切る部分から支点までの範囲でひずみを測定した。

使用した鉄筋は、横フシ型異形棒鋼SD35である。コンクリートは、早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を用い、水セメント比は51%、目標強度は300kg/cm² である。供試体は、打設後1日で脱型し湿布養生を行い、材令7日で実験を実施した。

3. 実験結果および考察

ダウエル作用による非線形挙動に対して、本研究では鉄筋を弾塑性バネに支持されたはりにモデル化し、次の仮定を行った。鉄筋は、その近傍のコンクリートと一体となって働くため、剛性を EI_1 (鉄筋と直径 $\lambda\phi$ の円形範囲のコンクリート断面) とする仮定の合成ばりが、仮想上のバネ (バネ定数 K) に吊されているものと仮定する。鉄筋の変形が大きくなるとコンクリートには鉄筋に沿ったひびわれが生じるため、図-2に示すようにそれらに伴うバネ定数および合成ばりの剛性の低下を表した非線形の範囲を設けるものとする。ここで、弾性限界を表す変位を y_e 、破壊を表す変位を y_u と仮定すると、バネ力 q と合成ばりの剛性 EI は図-3および図-4のようにあらわすことができる。

また上記のモデルにおける微分方程式は、次のとおりである。

$$\text{(弾性)} \quad EI_1 \frac{d^4 y}{dx^4} + Ky = 0 \quad \dots\dots (1) \quad \text{ここに} \quad EI_1 = E_c \frac{\pi \phi^4}{64} (\lambda^4 + n - 1)$$

$$\text{(非線形)} \quad EI_2 \frac{d^4 y}{dx^4} + q_0 = 0 \quad \dots\dots (2) \quad \text{ここに} \quad EI_2 = E_s \frac{\pi \phi^4}{64}$$

ここに、 E_s : 鉄筋のヤング率 E_c : コンクリートのヤング率 $n = E_s/E_c$ $q_0 = K \cdot y_e$

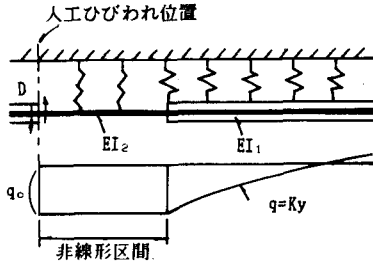


図-2 非線形モデル

上記のモデルにおける定数や変位の特性値は、すべて実験において測定した鉄筋のひずみから求められた曲率分布をもとに定められた。弾性域における定数 K および λ は、ひびわれが生ずる前の荷重の小さな段階で得られた曲率分布を用いた。各供試体で算出された λ は、ややばらつきがみられるが変数とした因子による影響がみられないため、平均値 $\lambda=1.61$ を採用することにした。バネ定数 K もばらつきがみられるが、鉄筋径のみに支配されている傾向にあり、次の関係を見いだした。ただし、 ϕ の単位は cm である。

$$K = 10000 (2.1\phi^2 + 2.7) \dots\dots (3)$$

上記で定められた λ 、 K を用いて、ひびわれが生じている荷重段階での曲率分布より、ひびわれ発生変位 y_0 を導き出し、さらに破壊荷重における人工ひびわれ位置での変位 y_u を求めた。これらの各供試体の算定値は、表-2に示すとおりである。ただし、 D_u は、実験で得られた破壊荷重を示す。

得られた y_0 、 y_u については、変数 ϕ 、 b_1 、 c を取り入れて回帰解析を行った。回帰式は次に示すとおりである。

$$y_0 = 0.0000575 \cdot \phi^{0.28} (c/\phi)^{0.68} (b_1/\phi) \dots\dots (4)$$

$$y_u = 0.000409 \cdot \{ (c/\phi) \cdot (b_1/\phi) \}^{1.78} \dots\dots (5)$$

ただし、 y_u についてはNo.06、No.08～12の供試体において破壊時に鉄筋が既に降伏していたため、回帰では除外した。

以上の結果から得られた定数および変位の特性値を用いて各供試体のダウエル破壊荷重を算出した。図-5は、それらの算定値と実測値を比較したもので、相関係数は0.917と良好な値を得た。今回の解析にあたっては、影響因子の範囲をそれ程大きくとっていないため、それらの上限値および下限値などは不明であるが、上記のモデルは鉄筋のダウエル作用に対して、変形および破壊性状をあらわすことが可能であると思われる。

謝辞：本研究は、昭和60年度吉田研究奨励金を授与されたものである。また、北海道大学工学部の木村勉技官、学生（当時）遠藤勝典、山下 修、葛野尚文各氏の多大な助力をえた。ここにあわせて深く謝意を表します。

参考文献 1) Krefeld, W.J., Thurston, C.W., Journal of American Concrete Institute, Mar. 1966

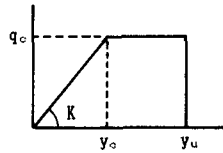


図-3 バネ力-変位

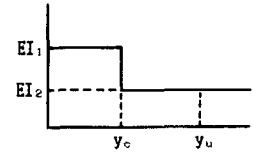


図-4 剛性-変位

表-2 係数および特性値

No.	K (kgf/cm ²)	EI ₁ (kgf·cm ²)	EI ₂ (kgf·cm ²)	y ₀ (cm)	y _u (cm)	D _u (kgf)
01	80760	1.10×10 ⁶	6.76×10 ⁵	0.00049	0.0797	800
02	"	"	"	0.00083	0.0569	1063
03	"	"	"	0.00046	0.0023	540
04	"	"	"	0.00050	0.0090	430
05	"	"	"	0.00110	0.0889	1475
06	"	"	"	0.00074	0.0556	975
07	"	"	"	0.00061	0.0407	775
08	48000	1.68×10 ⁵	1.03×10 ⁵	0.00184	0.0147	525
09	"	"	"	0.00253	0.0102	583
10	"	"	"	0.00117	0.0555	573
11	"	"	"	0.00070	0.2992	643
12	"	"	"	0.00063	0.0454	350
13	128640	3.93×10 ⁶	2.41×10 ⁶	—	—	1013
14	"	"	"	—	—	750
15	"	"	"	0.00042	0.0391	1150
16	"	"	"	0.00033	0.0060	550
17	"	"	"	0.00060	0.0144	1100

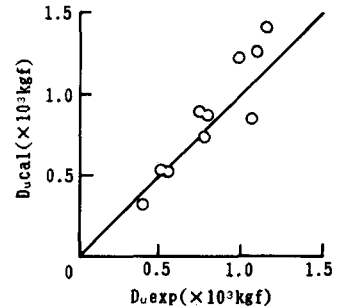


図-5 ダウエル破壊荷重