

I - B214 鉄筋とコンクリートの動的付着特性に関する実験的研究

防衛庁第4研究所 ○正会員 山口 弘 正会員 安藤智啓
正会員 星川辰雄 正会員 藤本一男

1 緒言 衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の解析には、鉄筋やコンクリートの動的構成則の他に、鉄筋とコンクリートの動的付着特性について明らかにする必要がある。しかし、構成則については数多く検討が行われているものの、動的付着特性については、島らりがひずみ速度レベルで $10^{-2}/\text{sec}$ 程度までを対象とした研究を行っている他はあまり例を見ない。そこで本研究は、物体が衝突した場合に構造物に発生するひずみ速度レベル($10^0 \sim 10^1/\text{sec}$)における動的付着特性について考察を行ったものである。

2 実験の概要 本研究では、任意ひずみ速度($\dot{\epsilon}$)下における鉄筋とコンクリートとの付着特性を調べるため、動的(載荷端における鉄筋のひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 10^0 \sim 10^1/\text{sec}$)、準静的($\dot{\epsilon} = 10^{-2}/\text{sec}$ 程度)および静的($\dot{\epsilon} = 10^{-6}/\text{sec}$ 程度)引き抜き試験を行った。図-1に示すようなコンクリート円筒の中心に異形鉄筋を埋め込んだ試験体を、図-2に示すように反力板上に設置した上で、移動枠の上部に荷重を加えて、鉄筋がコンクリート塊から引っ張られるようにした。この際、静的試験ではアムスラー試験機、準静的試験では急速載荷装置、動的試験では落錘式衝突実験装置を用いて載荷した。

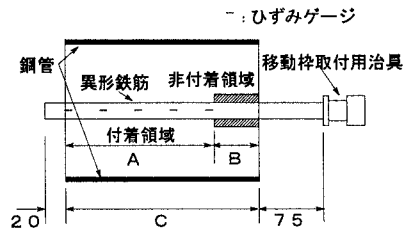


図-1 試験体（単位：mm）

測定項目は、鉄筋のひずみおよび鉄筋の自由端変位である。

鉄筋のひずみは、図-1に示すように、コンクリートの付着領域の両端および付着領域を等間隔に4分割する位置にそれぞれひずみゲージを貼付して測定した。また自由端変位は、変位計を試験体の上部に設置して計測した。

なお試験体は、反力板による圧縮応力が $\tau \sim S$ 関係に及ぼす影響を取り除くため、呼び径の5倍の長さの非付着領域を設けるとともに、コンクリートに縦ひび割れが発生することを防止するため、コンクリートの周りを鋼管で拘束した。試験体の寸法・性能を、表-1に示す。実験は、各試験体とも静的および準静的引き抜き試験を2体ずつ、動的引き抜き試験を5体ずつ行った。動的引き抜き試験においては、重錘重量を1.04kNと一定にして、落下高さを変化させることにより与える衝撃力を変化させた。

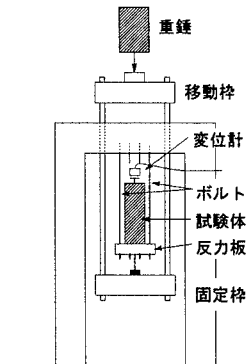


図-2 実験装置

3 実験結果及び考察

(1) ひずみ分布 図-3に、D2試験体に対する静的、準静的および動的引

表-1 試験体の寸法・性能

試験体名	鉄筋径	付着長 A (mm)	非付着長 B (mm)	コンクリート直径 (mm)	コンクリート長 C (mm)	コンクリート強度 (MPa)	鋼管寸法 (mm)
A1	D13	130	65	130.8	195	26.2	D139.8 t4.5
A2	D13	130	65	130.8	195	32.6	D139.8 t4.5
B1	D13	195	65	130.8	260	26.2	D139.8 t4.5
B2	D13	195	65	130.8	260	32.6	D139.8 t4.5
C1	D19	190	95	178.7	285	26.2	D190.7 t6.0
C2	D19	190	95	178.7	285	32.6	D190.7 t6.0
D1	D19	285	95	178.7	380	26.2	D190.7 t6.0
D2	D19	285	95	178.7	380	32.6	D190.7 t6.0

衝撃荷重、動的付着特性、ひずみ速度効果、コンクリート、異形鉄筋

〒229 相模原市淵野辺2-9-54 TEL 0427-52-2941 FAX 0427-52-2940

き抜き試験(落下高さ3m)において、載荷端におけるすべり量が0.15mmに達した時点におけるひずみ分布を示す。図より、ひずみ速度の増加に伴い、載荷端から遠い位置におけるひずみは小さくなるが、載荷端近傍におけるひずみが増大し、ひずみ分布の勾配が急になるとともに、変形が局所化していることが認められる。

(2) 動的付着応力～すべり関係 図-4に、B1試験体に対する静的および動的引き抜き試験(落下高さ2m)から得られた、載荷点から3.75Dの位置における $\tau \sim S$ 関係を示す。ここで付着応力 τ は、計測された鉄筋ひずみを鉄筋の応力 σ_s に換算して求められる応力分布から次式で算定される。

$$\tau = \frac{D_0}{4} \cdot \frac{d\sigma_s}{dx} \quad (1)$$

ただし、 D_0 ：異形鉄筋の直径、 x ：自由端からの距離。また、すべり量 S は、鉄筋ひずみを積分し、これに自由端におけるすべり量 S_0 を加えることにより、次式のように算定した。

$$S = \int \varepsilon dx + S_0 \quad (2)$$

図-4より、ひずみ速度の上昇に伴い、付着応力が増加していることが認められる。また、最大付着応力時のすべりは、ひずみ速度の増加に伴い、逆に減少していくことが認められる。

(3) 付着応力に及ぼすひずみ速度の影響 島ら¹⁾は、ねじふし鉄筋を用いた引き抜き試験結果から、ひずみ速度が $1.2 \times 10^{-2}/\text{sec}$ 程度までの領域におけるひずみ速度に応じた最大付着応力算定式として、次式を提案している。

$$\tau_{\max}(\dot{\varepsilon})/f_c^{1/3} = 1.94 + 0.153 \times \log(\dot{\varepsilon}) \quad (3)$$

ただし、 $f_c^{1/3}$ ：コンクリート強度。さらに、静的 $\tau \sim S$ 関係式に式(3)により算定される上昇率を乗じることにより動的 $\tau \sim S$ 関係が算定できるとしている。しかしながら図-4に示すとおり、最大付着応力時におけるすべり量は、ひずみ速度の増加に伴い小さくなるため、ひずみ量の異なる点における付着応力を比較し、その上昇率を静的 $\tau \sim S$ 関係式に取り入れた場合は、同じすべり量に対する付着応力を小さめに評価することとなる。そこで、図-5に、C2およびD2試験体に対する静的、準静的および動的引き抜き試験から得られた、載荷点から3.75Dの位置における $\tau \sim S$ 関係において、 $S/D_0 = 0.25, 0.5, 0.75\%$ における付着応力比～ひずみ速度関係を示す。図より、ひずみ速度の上昇に伴い、付着応力比は増加していくことが認められる。さて、図中に式(3)により求めた応力比を点線で示す。図より式(3)は、付着応力比の平均的な特性をとらえてはいるものの、増加の傾向を十分によく表しているとは言えない。そこで、最小自乗法を用いて、改めて付着応力比～ひずみ速度関係を求めると次式のようになり、図-5の実線のようになる。

$$\tau_d/\tau_s = 1.0 + 1.15 \times 10^{-3} \times (\log \dot{\varepsilon} + 6)^{3.6} \quad (4)$$

静的実験結果に式(4)を用いて求めた応力上昇率を乗じることにより求めた動的 $\tau \sim S$ 関係式を結果を図-4に破線で示す。図より、式(4)を用いて、衝撃的な荷重が作用するようなひずみ速度($10^0 \sim 10^2/\text{sec}$)が発生した場合も含めた任意ひずみ速度下における動的 $\tau \sim S$ 関係が推定可能であると思われる。

参考文献 1) 石本陽一、島弘：鉄筋とコンクリートの付着応力～すべり関係に及ぼす載荷速度の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 2、pp. 129～134、1993年

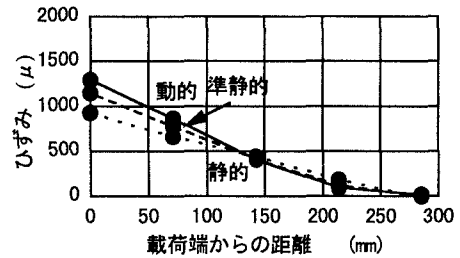


図-3 ひずみ分布

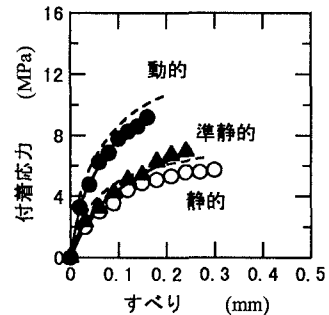


図-4 付着応力～すべり関係

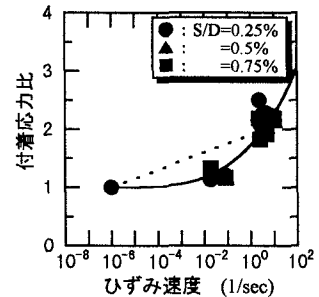


図-5 付着応力比～ひずみ速度関係