

若材齢時における鉄筋とコンクリートの付着挙動についての実験的研究

Experimental study on bond behavior between steel bar and concrete in early age

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 鶴谷建太 (Kenta Tsuruya)
北海道大学大学院工学研究科 正会員 出雲健司 (Kenji Izumo)
北海道大学大学院工学研究科 正会員 名和豊春 (Toyoharu Nawa)
北海道大学大学院工学研究科 フェロー 大沼博志 (Hiroshi Ohnuma)

1. はじめに

コンクリートの若材齢時には、水和熱によって温度応力が発生していたり、コンクリートが自己収縮することによって鉄筋がコンクリートの自己収縮を抑えようとするような拘束力が生じている。これら 2 つの事柄は鉄筋とコンクリートの付着が関わっている問題であり、それらのメカニズムを解明するにあたってはまず、若材齢時における鉄筋とコンクリートの時系列的な付着挙動について解明されることが必要不可欠である。

鉄筋とコンクリートの付着に関する既往の研究では、十分水和反応の進行した若材齢ではないコンクリートについて数多くの研究が行なわれてきていて、付着力の予測式が提案されたり、様々な条件下における付着のメカニズムが報告されている。若材齢時についての研究は非常に少ないなかで、若材齢時の鉄筋コンクリートについて両側引抜き試験を行なった既往の研究¹⁾によると、若材齢時には鉄筋とコンクリートの付着挙動はコンクリートの材齢に伴って変化することがわかっている。しかし、若材齢時以降を対象としている研究によって提案された式やメカニズムが若材齢時に適用できるかどうかは明らかになっていない。

本研究では、若材齢時における鉄筋とコンクリートの付着挙動を実験的に把握することを目的とし、鉄筋コンクリート供試体を用いた片側引抜き試験(片引き試験)を行なった。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

セメントには普通ポルトランドセメント(比重 3.16)、細骨材には鶴川産の海砂(粗粒率 2.87、比重 2.70、吸水率 1.43%)、粗骨材には最大骨材寸法 20mm の玉砂利(比重 2.77、表面乾燥湿潤状態)、混和剤にはポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いた。コンクリートの配合は水セメント比が 25%、45%、65% の 3 種類とした。この 3 種類を以下 C25、C45、C65 と呼ぶこととする。コンクリートの配合条件を表-1 に、物性値を表-2 に示す。

本研究で用いた鉄筋は D16(公称径 15.9mm)であり、鉄筋引張試験を行なった結果、降伏点引張応力 360.0(N/mm²)、最大引張応力 393.8(N/mm²)、ヤング係数 165(GPa)であった。

2.2 試験供試体

本研究で用いる試験供試体の寸法は 100×100×400(mm)とし、鉄筋を垂直に配置した型枠内にコンクリートを打設することによって製作した。(図-1 参照)

載荷する荷重の反力によって試験供試体上部が圧縮応力場になることによる影響を避けるため、鉄筋に非定着区間を設けた。非定着区間では鉄筋にテフロンシートを 3 重に巻きつけることで鉄筋とコンクリートの付着を絶った。既往の研究²⁾を参考に非定着長および定着長はそれぞれ 10D、15D(D は鉄筋径)とした。

養生は打設後から試験直前までの間、20℃の恒温室内で封緘養生を行なった。

鉄筋のひずみゲージ貼付け位置は、図-1 のように定着区間 3 箇所(載荷端に近いほうから SG1、SG2、SG3)と、試験中に鉄筋が降伏したか否かの状態を確認するために非定着区間に 1 箇所(SG0)とした。

また、片引き試験用供試体を製作するときと同じバッチから圧縮試験用円柱供試体を製作した。

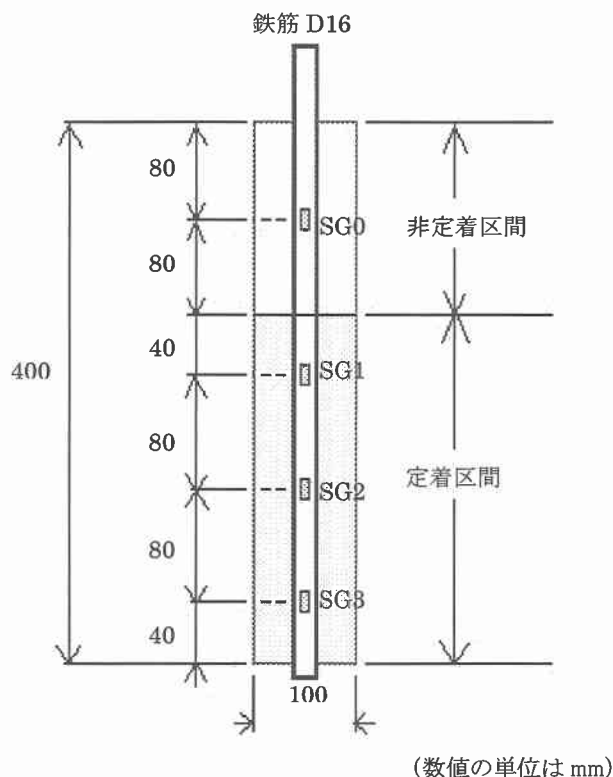
表-1 コンクリートの配合条件

記号	W/C	s/a	(kg/m ³)				sp
			W	C	S	G	
C25	25	40.5	170	680	651	980	0.8
C45	45	48.8		378	909		0.6
C65	65	51.3		262	1008		0.2

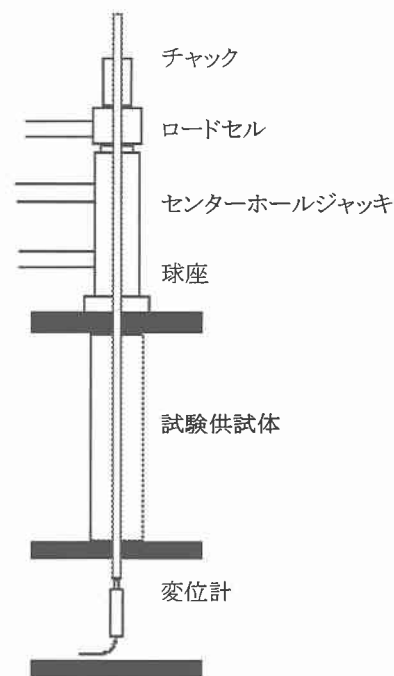
表-2 圧縮強度とヤング係数

材齢		1 日	3 日	7 日	28 日
圧縮強度	C25	39.69	60.10	67.47	74.90
	C45	13.18	29.91	40.09	45.12
	C65	4.65	12.65	21.87	—
ヤング係数	C25	28370	35273	34197	35744
	C45	20841	27843	31531	33087
	C65	16407	22255	27234	—

単位:MPa



図－1 試験供試体概要



図－2 試験装置概要

2. 3 試験方法

本研究における片引き試験では、図－2 のように台座に試験供試体を設置し、その上に球座、センターホールジャッキ (20tf、ストローク 100mm)、ロードセル (20tf) の順に設置し、最後にチャックで鉄筋のリブを噛み合わせることによって固定した。

センターホールジャッキを用いて鉄筋へ引張力を載荷した。鉄筋コンクリートに発生する温度応力によって鉄筋は降伏しないことから、鉄筋が降伏するまでを本研究の実験範囲とし、ひずみを測定した。また、変位計を用いて試験供試体最下部(自由端)における鉄筋の変位を測定した。

試験供試体の破壊形態を表－3 に示す。降伏は鉄筋が降伏に至ったことを、破壊はコンクリートが割裂して破壊した形態を示す。なお、破壊したものに関しては鉄筋が降伏まで至らなかったため、考察からは除外した。

表－3 試験供試体の破壊形態

材齢	1 日	3 日	7 日	28 日
C25	降伏	降伏	降伏	降伏
C45	降伏	降伏	降伏	降伏
C65	破壊	降伏	降伏	—

3. 実験結果と考察

3. 1 荷重－ひずみ関係の材齢による変化

C25、C45、C65 について SG1、SG2 の荷重－ひずみ関係をそれぞれ図－3、図－4、図－5 に示す。

C25 においては図－3 に示されるように、材齢 3 日以降の荷重－ひずみ関係にほとんど変化が見られず、同一荷重における鉄筋ひずみがあまり変化していない。しかし表－2 から、C25 の圧縮強度は材齢 3 日以降においても増加している。このことより、圧縮強度がある程度以上 (本実験結果では 60MPa 以上) になると、圧縮強度が変化しても付着挙動はほとんど変化しないことが考えられる。

C45、C65 においては図－4、図－5 に示されるように、材齢が進行するにしたがって荷重－ひずみ関係の勾配は大きくなっている。つまり同一の荷重における鉄筋のひずみが減少している。SG3 についても同様の傾向が確認された。材齢に伴って圧縮強度などが増加したことによって (本実験結果では 5MPa から 45MPa 程度の範囲内での増加)、鉄筋とコンクリートの付着力が大きくなったことが理由として考えられる。事実、圧縮強度は表－2 からわかるように C45 と C65 どちらにおいても、特に材齢 7 日までは大きく増加している。

C25 の場合には圧縮強度の増加にもかかわらず付着挙動には目立った変化は見られない。C45、C65 の場合には圧縮強度の増加と付着挙動の変化が同時に起きている。このことから、付着挙動を圧縮強度のみで論じることができないと考えられる。

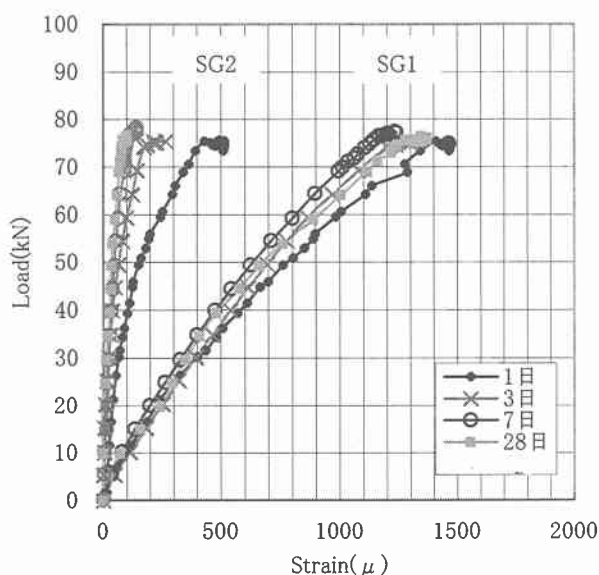


図-3 荷重－ひずみ関係の材齢による変化(C25)

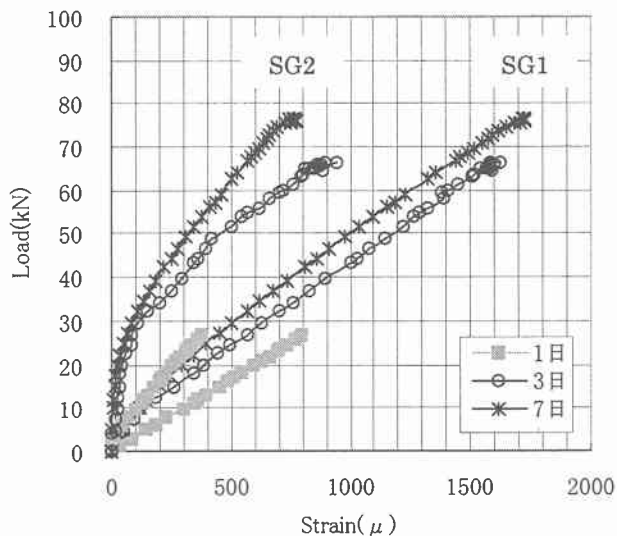


図-5 荷重－ひずみ関係の材齢による変化(C65)

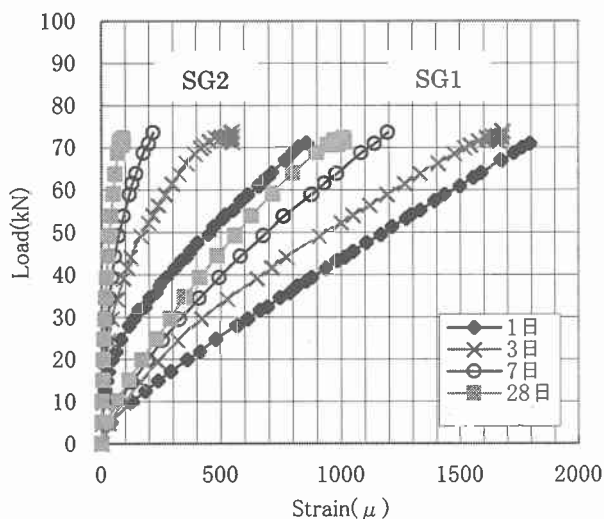


図-4 荷重－ひずみ関係の材齢による変化(C45)

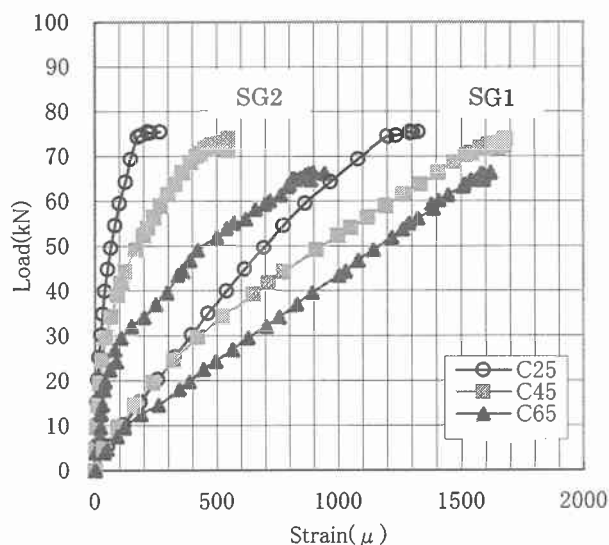


図-6 材齢 3 日における荷重－ひずみ関係

3. 2 同一材齢における荷重－ひずみ関係の水セメント比による変化

材齢 3 日、7 日における SG1、SG2 の荷重－ひずみ関係をそれぞれ図-6、図-7 に示す。

同一材齢に着目すると水セメント比が小さくなるほど、荷重－ひずみ関係の勾配は大きくなり、同一の荷重における鉄筋ひずみは減少している。このことはすべての材齢、すべての SG1、SG2、SG3 において同様の結果が確認された。表-2 がその一例を示しているが、水セメント比が小さいほど圧縮強度の大きなコンクリートとなることから、荷重－ひずみ関係の勾配は大きくなり、同一荷重における鉄筋ひずみは減少するという既往の研究の結果と同じになった。

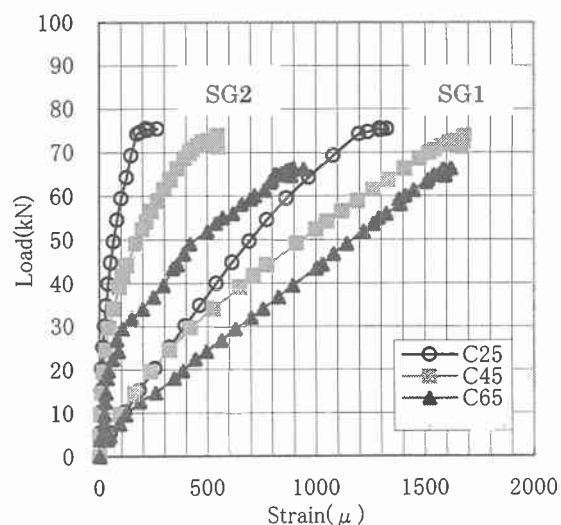


図-7 材齢 7 日における荷重－ひずみ関係

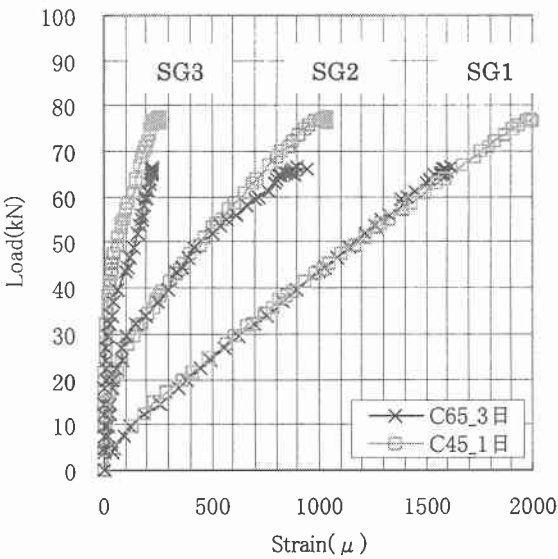
3. 3 同程度の圧縮強度を有する供試体間における荷重－ひずみ関係の比較

圧縮強度の材齢による変化は表－2 に示した通りである。表－2 から同程度の圧縮強度として、C25 の材齢 1 日と C45 の材齢 7 日、C45 の材齢 1 日と C65 の材齢 3 日、以上 2 通りの組合せを考えた。それらを比較した図をそれぞれ図－8、図－9 に示す。

図－8、図－9 ともに圧縮強度は同程度でも異なるひずみ分布となっていることがわかる。つまり、圧縮強度は同程度であっても異なる付着挙動を示しているといえる。

付着を取り扱うためのものとして、付着応力－すべり関係が一般的に用いられている。付着応力－すべり関係を鉄筋径およびコンクリートの圧縮強度の影響で考慮した島ら²⁾の式がある。島らの式は水和反応が十分に進行した若材齢ではないコンクリートを用いた供試体によって導かれたものである。本研究で用いた鉄筋は鉄筋径が 1 種類のみなので、島らの式を用いて付着挙動を考察しようとするならば、付着応力－すべり関係に影響するものはコンクリートの圧縮強度のみである。よって、コンクリートの圧縮強度がほぼ等しいならば、ほぼ等しい付着応力－すべり関係となるはずである。つまりコンクリートの圧縮強度が同程度であればそれらの付着挙動も同程度になるはずである。

しかし図－8、図－9 の結果では、それぞれ同程度のコンクリート圧縮強度を持つ試験供試体が同じような付着挙動を示していない。この結果からも付着挙動をコンクリートの圧縮強度のみで論じることができないと考えられる。



図－9 C45 の材齢 1 日と C65 の材齢 3 日

4. まとめ

若材齢の供試体を中心に引抜き試験を実施した結果から得られた結論を以下にまとめた。

(1) C45、C65 (本研究においては圧縮強度 45MPa 程度まで) については、材齢の進行に伴って、荷重－ひずみ関係の勾配は大きくなり、同一荷重における鉄筋ひずみは減少する。C25 (60MPa 程度以上) については、材齢が進行しても荷重－ひずみ関係の勾配および同一荷重における鉄筋ひずみはそれほど変化しない。

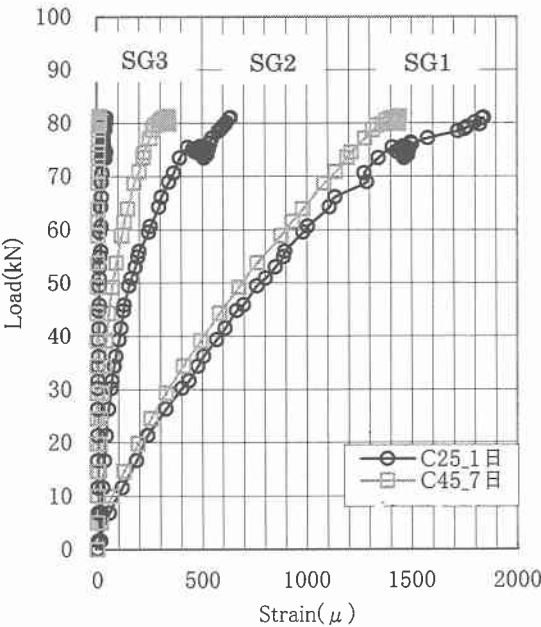
(2) 同一の材齢に着目すると水セメント比が小さいほど、荷重－ひずみ関係の勾配は大きくなり、同一荷重における鉄筋ひずみは減少する。

(3) コンクリートの圧縮強度が同程度の鉄筋コンクリートの場合でも鉄筋とコンクリートの付着挙動は一致しない。このことから若材齢における付着力を予測するときに、付着力の予測をコンクリートの圧縮強度のみを用いて行なう従来の方法では、不十分であると思われる。

参考文献

1) 三村陽一、吉武勇、浜田純夫、永井泉治: 若材齢コンクリートの付着特性に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.22/No.3、pp.1213-1218、2000

2) 島弘、周礼良、岡村甫: マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力－すべり－ひずみ関係、土木学会論文集、No.378/V-6、pp.165-174、1987



図－8 C25 の材齢 1 日と C45 の材齢 7 日