

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

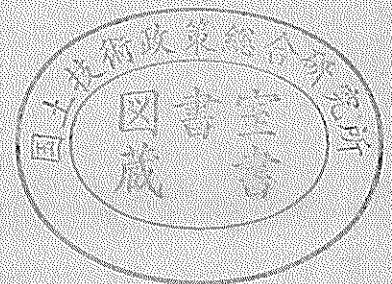
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 7

NO. 1

MAR. 1968

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。ただし第1巻から第6巻および欧文編第1号から第15号までは下記のとおり不定期に刊行された。報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

和文篇 (Japanese Edition)

- Vol. 1. No. 1 (1963)
- Vol. 2. Nos. 1~3 (1963~1964)
- Vol. 3. Nos. 1~7 (1964)
- Vol. 4. Nos. 1~11 (1965)
- Vol. 5. Nos. 1~15 (1966)
- Vol. 6. Nos. 1~8 (1967)

欧文篇 (English Edition)

- Report Nos. 1~15 (1963~1967)

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The report prior to the seventh volume were published in two series in Japanese and English as listed above.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the members of papers in concern.

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第7巻 第1号 (Vol. 7, No. 1), 1968年3月 (Mar. 1968)

目 次 (CONTENTS)

1. The Effect of Overconsolidation on the Undrained Strength of Clays
.....Akio NAKASE..... 3
(粘土の非排水せん断強さに及ぼす過圧密の影響中瀬明男)
2. 港湾構造物における高張力異形鉄筋の使用方法に関する調査研究 (第2報)
.....赤塚雄三・関博..... 25
(Investigation on Use of High Strength Deformed Bars for
Harbour Construction Works (Part II)
.....Yuzo AKATSUKA and Hiroshi SEKI)
3. 排土板とジェット組合せによる地均し力におよぼす効果について
.....早乙女保二・石塚浩次..... 47
(On the Effect upon the Leveling in Water by the Combination of
Blade and Water-Jet
..... Yasuji SAOTOME and Koji ISHIZUKA)
4. Supplement: Synopses of Reports of Port and Harbour Research
Institute (Japanese Edition) 61

2. 港湾構造物における高張力異形鉄筋の 使用方法に関する調査研究 (第2報)

赤塚雄三*・関博**

要 旨

既報の第一報に引続き高張力異形鉄筋の調査研究を行なった。本第二報は高張力異形鉄筋の品質の変動、コンクリートの打上り高さが付着強度におよぼす影響および曲げ加工によって鉄筋表面に生じたキレツが引張特性におよぼす影響についての調査結果を取纏めたものである。

品質の変動は、昭和41年度直轄港湾事業において使用されたSD30およびSD35の異形鉄筋を対象とし、19の工事事務所において無作為に採取した56種の試験片を用い、降伏点、引張強度および伸びの試験を行なって調査した。この結果、調査の対象となった56種の異形鉄筋はいずれもJISの規格値を満足し、チャージ間の品質変動も概して小さく、たとえば降伏点の変動係数は2~3%であった。

コンクリート柱に打上り高さを変えて水平に埋込んだ異形鉄筋のコンクリートとの付着強度は、打上り面0~60cmの表層部分では下層に比べて約1/3程度まで低下するが、これより以下の部分ではほぼ一定となることが認められた。このような表層部分における付着強度の低下は、打上り高さによる圧縮強度の分布とほぼ符号するもので、直接的にブリージングの影響によることが確かめられた。

曲げおよび曲げもどし加工によって鉄筋表面に発生した鉄筋を用いて、一定の時効硬化後に引張試験を行なった結果、試験片は曲げ領域の外側で破断し、肉眼で認め得る大きなキレツ(0.1~0.5mm)も引張強度に影響せぬことが確かめられた。これは、冷間加工を施したことにより曲げ領域の引張強度が高められたため、伸びは当然ながら減少し、たとえば、素材の27%に比べて曲げ加工後の伸びが14%程度まで減少したのも認められた。

* 構造部 材料施工研究室長

** 構造部 材料施工研究室

2. Investigation on Use of High Strength Deformed Bars for Harbour Construction Works (Part II)

Yuzo AKATSUKA*,
Hiroshi SEKI**

Synopsis

In succession to the studies previously reported in the Part I, investigations were carried out on the quality variation of high strength deformed reinforcing steel bars, the effect of depth of concrete layers placed in a lift while concrete was plastic upon the bond strength of concrete with deformed bars, and the relations between the size of cracks caused on the surface of deformed bars due to the cold work of bending and rebending.

The quality investigation was performed on the samples of 56 kinds of deformed bars taken from the nineteen harbour construction works during the fiscal year 1966, which proved them to comply satisfactorily with the requirements of Japan Industrial Standard G 3112-1964, "Steel Bars for Reinforced Concrete." The quality variation of these bars was found in general small, for example, the coefficient of variation of either yield point or tensile strength was 2 to 3 percent and that of elongation was 3 to 4 percent.

Bond strength of concrete with deformed bars buried horizontally with different depths in 15×15 cm columns of 180 cm high was found to decrease considerably only at the top layer of 0 to 60 cm and to be nearly constant at the deeper layers.

The cracks of 0.1 to 0.5 mm widths caused on the surface texture of deformed bars due to the cold work of bending and rebending of 90 degree did not affect the yield point and tensile strength but the elongation decreased considerably.

* Dr. Eng., Chief, Materials Laboratory, Structures Division.

** Member, Materials Laboratory, Structures Division.

目 次

要 旨	25
1. 序	29
2. 異形鉄筋の品質の変動	29
2.1 試験方法	29
2.2 異形鉄筋のロット内変動	29
2.3 異形鉄筋のチャージ間変動	29
2.4 ミルシートと試験結果の比較	31
3. コンクリートの打上り高さが付着強度におよぼす影響	31
3.1 試験方法	31
3.2 試験結果および解析方法	35
3.3 細骨材粒度, 配合強度および打上り高さがブリージングにおよぼす影響	36
3.4 打上り高さが圧縮強度におよぼす影響	38
3.5 配合強度および打上り高さが付着強度におよぼす影響	38
4. 高張力異形鉄筋の曲げ加工が引張特性におよぼす影響	39
4.1 試験方法	39
4.2 曲げキレットと破断点	40
4.3 曲げ加工が引張特性におよぼす影響	40
5. 結 論	43
引用文献	45

1. 序

第1報¹⁾では、昭和40年度直轄港湾工事における高張力異形鉄筋の使用状況調査ならびに国産の代表的な高張力異形鉄筋15種を選んで行なった引張特性、付着特性、曲げ加工性および溶接性に関する比較試験の結果について報告した。本報告は第1報に引続いて行なった高張力異形鉄筋の使用法に関する調査研究の結果を取纏めたもので、高張力異形鉄筋の品質の変動、打上り高さが著しく大きい場合の鉄筋の付着強度および曲げ加工性と引張特性との関係についての検討結果について述べる。

引張特性については、降伏点、引張強度および伸びの3点から評価した結果大部分の高張力異形鉄筋は規格値を満足するが規格値を満足しないものもあり、更に品質の変動も少なくないと推定された。こうした観点より品質の変動について調査した。試験片は、昭和41年度直轄港湾工事で異形鉄筋を使用中の19の工事事務所において、昭和41年8月より昭和42年2月に亘って採取したもので、本研究所において引張試験を実施した。採取した試験片のうち、SD30に属するものはONICON（K.K. 伊藤製鉄所）、OH BAR（大阪製鋼 K.K.）、KACON（国光製鋼 K.K.）およびTOKAI STEEL（東海鋼業 K.K.）の4メーカーの製品で、採取対象となったチャージ数は24であった（メーカー、呼び名、工事事務所別に1チャージと考える）。またSD35に属するものは、DACON（K.K. 神戸製鋼所）、KACON、TOKAI STEEL およびSUMI BAR（住友金属工業 K.K.）の4メーカーの製品でチャージ数は32であった。

第1報に述べた付着特性に関する試験によって鉄筋とコンクリートとの付着強度は、鉄筋の埋込み位置や鉄筋径によってかなり異なり、水平上筋（コンクリート打上り高さ=22.5 cm）の付着強度は水平下筋（コンクリート打上り高さ=7.5 cm）に比べて30%程度低下することが確かめられている。一方、異形鉄筋の使用実績調査から、ケーソン等の港湾構造物ではコンクリートの1回における打上り高さは概して大きく、3.6 mにおよぶ例もあり、これが付着強度におよぼす影響も無視できないと思われた。そこで、付着強度を変化させる要因として、セメントの品質、細骨材の粒度、コンクリートのスランプと強度および1回の打上り高さ、鉄筋の品質の計6因子を選定して、引き抜き法による付着強度試験を行な

い、打上り高さの大きいコンクリートの付着強度低下の現象を検討した。

曲げ加工性に関しては、第1報では、曲げ角度、曲げもどし角度、曲げ直径、載荷方向等を考えて行なった曲げおよび曲げもどし試験結果について報告し、鉄筋の曲げ加工性を“キレツ係数”なる量を用いて定量的に評価することを試みた。本文ではこれに引き続いて、曲げ加工によるキレツが鉄筋の引張特性におよぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 異形鉄筋の品質の変動

2.1. 試験方法

(1) 試験片の採取

試験片はつぎの方法で採取した。各工事事務所に同時点で入荷した同一ロットの鉄筋群より名称と呼び名の同じ長尺の鉄筋試験片を各工事事務所の担当係員が無作為に2ないし4本採取し、それぞれの試験片より長さ1.2 mのものを1本づつ切断採取する。当研究所への送付に際し該当する鉄筋のミルシートを添付する。当研究所に到着後、さらに切断して長さ60 cmの試験片を4ないし8本製作する。

(2) 試験方法

本試験片は、JIS Z2201-1956（金属材料試験片）に規定する2号試験片に該当し、JIS Z2241-1956（金属材料引張試験方法）に準じて標点距離8D（D：公称直径）とし、降伏点、引張強度および伸びを測定した。引張試験には容量100 tonの油圧式万能試験機（東京衛機製作所製）を用い、荷重速度は前回と同様に3000 kg/min/cm²とした。

2.2. 異形鉄筋のロット内変動

引張試験の結果は表2.1に示した通りであり、どの試験片も所要の規格を満足した。試験片の採取方法および試験片の個数が少ないために明確な解析な困難であるが、ロット内変動を推定することはできる。変動係数の大きい場合も数例見られるが、概して小さく、その平均値は降伏点0.9%（0.3~4.6%）、引張強度0.7%（0.0~4.4%）、伸び4.1%（1.1~10.7%）である。伸びは降伏点と引張強度に比較して変動が大きいがこれは一般的傾向である。

2.3. 異形鉄筋のチャージ間変動

鉄筋は、同一チャージであっても径が異なると、加工条件も異なるために品質に相違の生ずる可能性がある。

表 2.1 昭和 41 年度直轄港湾工事施工現場で採取した試験片の引張試験結果

規格	呼び名	鉄筋名	採取した工事事務所名	降 伏 点			引 張 強 度			伸 び				
				降伏点 (kg/mm ²)	標準偏差 (kg/mm ²)	変動係数 (%)	引張強度 (kg/mm ²)	標準偏差 (kg/mm ²)	変動係数 (%)	伸 び (%)	標準偏差 (%)	変動係数 (%)		
SD30	D13	J	衣浦港	32.4	0.2	0.6	48.9	0.2	0.5	② 25.7	1.8	7.2		
			青森港	36.9	0.1	0.3	55.6	0.5	0.6	25.1	0.8	3.0		
			青森港	35.0	0.7	2.0	51.5	0.6	1.1	27.6	1.6	5.6		
	D16	J	尼崎港	35.7	0.5	1.4	54.7	0.0	0.1	30.8	1.8	5.9		
			宮古港	38.7	0.2	0.5	55.8	0.2	0.3	28.3	1.1	3.8		
			小名浜港	36.0	0.4	1.2	53.9	0.2	0.3	28.4	1.9	6.7		
			鹿島港	33.0	0.5	1.4	51.5	0.3	0.6	② 28.1	0.6	2.1		
			衣浦港	37.8	0.4	1.0	56.7	0.2	0.4	24.4	1.2	4.8		
			青森港	34.0	0.2	0.7	52.0	0.2	0.4	28.6	0.3	1.1		
	D19	G-1	青森港	34.8	1.3	3.7	52.3	1.6	3.1	② 28.3	1.2	4.1		
			神戸港	38.6	0.2	0.6	56.8	0.3	0.5	27.6	0.7	2.5		
			松山港	35.2	0.4	1.3	53.0	0.2	0.4	28.4	0.6	2.1		
			尼崎港	34.1	0.4	1.1	52.4	0.2	0.5	30.7	1.1	3.6		
			小名浜港	34.0	0.2	0.7	52.6	0.2	0.4	25.3	1.6	6.3		
			鹿島港	32.6	0.2	0.6	51.4	0.4	0.7	27.2	1.5	5.6		
	D22	K	青森港	37.3	0.2	0.6	59.0	0.2	0.3	23.9	1.3	5.6		
			神戸港	38.4	0.5	1.3	55.3	0.2	0.4	28.2	1.0	3.5		
			松山港	37.5	0.4	0.9	55.0	0.1	0.2	26.8	1.1	4.1		
尼崎港			34.0	0.2	0.7	52.6	0.2	0.3	28.6	1.0	3.6			
小名浜港			36.0	0.2	0.6	55.2	0.2	0.3	23.6	0.3	1.4			
清水港			① 39.5	0.1	0.3	① 60.2	0.7	1.1	① 20.9	0.2	1.2			
SD35	D13	D	清水港	① 37.8	0.2	0.7	① 57.2	0.0	0.0	① 24.7	0.9	3.5		
			神戸港	37.0	0.3	0.8	55.0	0.1	0.2	24.7	1.2	4.9		
			松山港	41.3	0.5	1.2	59.2	0.2	0.2	26.0	1.0	3.7		
			伏木富山港	③ 40.1	0.2	0.6	③ 56.3	0.2	0.3	③ 31.2	1.3	4.1		
			四日市港	44.8	0.4	0.9	60.2	0.1	0.2	28.9	0.8	2.8		
			衣浦港	39.7	0.1	0.3	53.8	0.2	0.5	29.3	2.7	9.1		
	D16	D	四日市港	39.6	0.5	1.2	55.2	0.2	0.3	27.8	1.9	6.8		
			伏木富山港	③ 41.2	0.2	0.4	③ 59.8	0.2	0.4	③ 28.5	0.9	3.0		
			七尾港	③ 38.8	0.3	0.7	③ 55.7	0.1	0.1	③ 30.5	0.7	2.3		
			長崎港	36.1	0.2	0.6	61.0	0.4	0.7	26.7	1.3	4.9		
			鹿島港	39.9	0.3	0.8	61.6	0.2	0.4	26.4	1.1	4.0		
			清水港	39.8	0.3	0.8	57.6	0.2	0.4	29.5	2.1	7.1		
			八戸港	38.0	0.2	0.4	55.7	0.2	0.4	29.9	0.7	2.4		
			四日市港	39.8	1.8	4.6	58.2	2.6	4.4	27.6	1.9	7.0		
			D19	G-1	神戸港	40.3	0.5	1.2	63.0	0.4	0.6	24.2	1.4	5.7
					門司港	37.7	0.3	0.8	56.1	1.6	2.9	29.8	3.2	10.7
					衣浦港	37.4	0.2	0.5	58.2	0.1	0.2	26.0	0.9	3.4
					四日市港	38.2	0.6	1.5	53.4	0.4	0.8	29.0	1.0	3.6
和歌山港	41.7	0.4			0.9	58.4	0.8	1.3	27.5	0.9	3.4			
洞海湾	39.9	0.2			0.6	56.6	0.1	0.2	27.5	1.1	4.0			
D22	K	I-2 別府港	40.2	0.9	2.3	58.5	1.8	3.0	30.3	0.9	3.1			
		伏木富山港	③ 38.8	0.2	0.6	③ 58.0	0.6	1.1	③ 28.5	0.7	2.5			
		七尾港	③ 38.0	0.1	0.3	③ 56.0	0.2	0.4	③ 30.6	0.8	2.6			
		清水港	37.3	0.3	0.8	56.2	0.2	0.4	28.2	1.4	5.1			
		八戸港	37.4	0.2	0.4	55.6	0.1	0.2	30.2	0.7	2.3			
		四日市港	37.7	0.3	0.8	57.0	1.7	3.0	28.0	1.5	5.5			
		神戸港	38.2	0.4	1.0	54.9	0.1	0.2	27.1	1.2	4.2			
		四日市港	37.7	0.4	1.0	56.0	0.2	0.4	27.9	1.5	5.4			
		和歌山港	38.7	0.6	1.4	58.3	0.8	1.5	26.9	1.1	3.9			
D22	D	洞海湾	38.8	0.5	1.2	55.5	0.2	0.3	28.3	0.8	2.9			
		別府港	36.0	0.2	0.6	54.9	0.4	0.6	31.3	0.5	1.6			
		鹿島港	38.1	0.2	0.6	56.0	0.2	0.3	28.2	0.6	2.2			
D22	K	清水港	38.2	0.4	1.0	54.4	0.2	0.4	27.5	0.6	2.0			
		八戸港	38.2	0.2	0.6	56.4	0.2	0.3	27.0	1.1	4.2			
		和歌山港	38.6	0.9	2.4	54.2	1.1	2.1	26.3	0.6	2.5			

注) 原則として試験片 6 個の平均値
 ただし、① 試験片 4 個の平均値 ② 試験片 5 個の平均値 ③ 試験片 8 個の平均値

表 2.2 供試体試験片の引張特性のチャージ間変動

規格	鉄筋名	降 伏 点			引 張 強 度			伸 び		
		平均値 (kg/mm ²)	信頼限界 ※ (kg/mm ²)	変動係数 (%)	平均値 (kg/mm ²)	信頼限界 ※ (kg/mm ²)	変動係数 (%)	平均値 (kg/mm ²)	信頼限界 ※ (kg/mm ²)	変動係数 (%)
SD30	G-1	38.0	35.9~40.1	1.6	55.7	53.3~58.1	2.2	26.8	22.2~31.4	8.6
	H	34.6	32.2~37.0	3.5	53.2	50.1~56.3	3.0	30.0	26.9~33.1	5.3
	J	35.3	34.1~36.5	1.7	53.6	51.9~55.3	1.5	26.2	24.8~27.6	2.7
	K	38.0	30.3~45.7	10.0	55.7	47.8~63.6	7.2	27.0	25.8~28.2	2.2
SD35	D	38.8	37.4~40.2	1.8	57.5	56.1~58.9	1.2	28.2	27.4~29.0	1.4
	G-1	38.6	37.8~39.4	1.0	56.4	53.8~59.0	2.3	27.6	26.4~28.8	2.2
	K	39.5	38.2~40.8	1.5	56.6	54.4~58.6	2.0	27.3	26.4~28.2	1.6

※ 信頼限界は危険率 5% で推定した。
試験片数はいずれも 6 個

このため、同一規格の試験片の呼び名 (D13, D16, D19, D22) による相違を検討するために、第 1 報に記載の SD35 の I-1~I-4 のそれぞれ呼び名の異なる 4 種の試験片を取り上げた。呼び名を水準とした一元配置法によって F 検定を行なうと、危険率 5% で降伏点、引張強度は高度に有意、つまり、鉄筋の呼び名による差異が認められるが一定の関係は見出せない。したがって、チャージ間変動は、鉄筋の呼び名による変動に卓越するものと考えてよいであろう。

本調査では、同一鉄筋名の試験片は同一母集団から採取された試験片と考えられる。鉄筋の呼び名を区別せずに、SD30 の鉄筋 G-1, H, J, K および SD35 の鉄筋 D, G-1, K の 7 種を抽出し、試料数 6 の試験結果から繰り返し数 6 の変量模型タイプを考える。一元配置法によって母集団の平均値、信頼限界、変動係数を推定すると表 2.2 に示す結果が得られる。同表において、SD30 鉄筋 K のバラツキの範囲は選択したチャージ数が 3 で、たまたま大きな値を示しているが、これを除いて考えると降伏点、引張強度の変動係数は 2~3% 程度であり、伸びの変動係数は多少大きく 3~4% 程度と推定される。いずれの鉄筋も危険率 5% の信頼限界は、所要の規格値を満足する。ただし、同一規格の鉄筋の信頼限界を取り出すと、SD30 は降伏点 (32.2~40.1 kg/mm²)、引張強度 (49.4~58.1 kg/mm²) 伸び (22.2~33.1%) であり、一方、SD35 に関しては、降伏点 (37.4~41.4 kg/mm²)、引張強度 (53.8~59.0 kg/mm²)、伸び (26.4~29.0%) であり、異形鉄筋一般の品質のバラツキ範囲が得られる。

2.4. ミルシートと試験結果の比較

試験片の採取に際し、ミルシートも同時に収集し、これに記載された値と試験値との比較を試みた。ミルシートの記載内容はメーカーにより多少相違するため母集団を明確に推定できないが、ロット内の変動はチャージ間の変動に比較してかなり小さいので、これを無視して、ほぼそれぞれの鉄筋名ごとの品質の変動を推定しても重大な誤りを犯すおそれは少ないと考える。表 2.3 は、このような手法でチャージ間の平均値と標準偏差を求めたものである。伸びの試験値はミルシートのそれを 10% 程度上回ったが降伏点と引張強度については相違はほとんどないといってよい。

以上のように、本試験に供した試験片はいずれも、いわゆるメーカー品であったためか、引張試験結果は規格値を満足し、ミルシートとの比較においても著しい相違は認められなかった。しかし、入荷鉄筋の品質がミルシートの試験値と符号しない例も多く品質を適確に評価するためには、随時抜き取り検査を実施して、強度試験を行なう必要があると思われる。

3. コンクリートの打上り高さが付着強度におよぼす影響

3.1. 試験方法

(1) 実験計画

水平に埋込まれた鉄筋の付着強度がコンクリートの打上り高さによっても変化し、たとえば最上層鉄筋の付着強度が最下層の 1/3~1/5 とする報告²⁾もあるが、その試験条件は港湾構造物の場合とかなり異なる。コンクリートの打上り高さによる付着強度の変化は主としてブリ

表 2.3 ミルシートに記載された試験値のチャージ間変動

規格	鉄筋名	チャージ数	降 伏 点			引 張 強 度			伸 び		
			平均値 (kg/mm ²)	標準偏差 (kg/mm ²)	ミルシート※ 送付試験片	平均値 (kg/mm ²)	標準偏差 (kg/mm ²)	ミルシート※ 送付試験片	平均値 (%)	標準偏差 (%)	ミルシート※ 送付試験片
SD35	G-1	5	37.0	1.1	97	54.8	1.9	98	24.8	1.2	92
	H	3	36.0	0.9	104	53.6	1.1	101	26.8	1.0	89
	J	23	36.9	1.5	104	54.5	1.9	102	23.7	2.8	90
	K	16	38.8	1.0	102	54.1	2.8	97	24.1	1.8	89
SD30	D	84	38.2	1.7	98	56.8	1.8	99	26.7	2.2	95
	G-1	32	39.8	2.2	103	56.4	2.0	100	24.3	1.5	88
	I	16	38.5	2.6	101	55.8	2.2	98	26.4	2.5	86
	K	38	40.5	1.7	102	56.8	2.2	100	24.6	1.7	90

※ 供試試験片平均値に対するミルシートに記載された値の平均値の比

ージングの影響によるものと考えられるので、プリージ
ングに影響する主要な要因としてセメントの品質、細骨
材の粒度、コンクリートの配合（スランブと配合強度）
を選び、さらに鉄筋の形状（異形の形状による付着強度
の差）と打上り高さの要因を加えて、これらの因子と付
着強度との関係について検討した。それぞれの因子の水
準は表 3.1 に示したような2水準とし、わりつけは
L16 (2¹⁵) の直交配列表によった。2段階実験として、
1次因子はスランブ、コンクリートの配合強度および細
骨材粒度を、2次因子としては打上り高さ、セメントの
品質、鉄筋の種類をわり当て、それぞれの主効果と、打
上り高さ、スランブ、コンクリートの配合強度、細骨
材粒度およびセメントの品質の交互作用が得られるよう

表 3.1 因子および水準

因 子	水 準	
	第1水準	第2水準
ス ラ ン ブ (cm)	2~5	8~11
コンクリート配合強度 (kg/cm ²)	300	400
細 骨 材 粒 度	2.35	2.90
セ メ ン ト の 品 質※	住 友	開 発
打 上 り 高 さ (cm)	30	180
鉄 筋	C	G-1

※ 普通ポルトランドセメント
住友セメント
東北開発セメント

表 3.2 セメントの諸性質

セメントの種類	比重	粉 末 度		凝 結			安 定 性	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
		ブレン (cm ² /g)	88μ (%)	水量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)		3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
住友セメント 普通ポルトランド セメント	3.18	3,050	2.5	27.5	2-26	3-21	良	32.1	48.0	71.9	127	220	413
東北開発 普通ポルトランド セメント	3.15	3,290	1.2	27.2	2-25	3-26	良	30.4	47.2	68.5	135	237	395

セメントの種類	化 学 成 分 (%)								
	Loss	Insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
住友セメント 普通ポルトランドセメント	0.6	0.7	22.0	5.1	3.2	64.5	1.7	1.6	99.4
東北開発 普通ポルトランドセメント	1.0	0.5	20.9	5.4	3.1	65.6	1.0	1.6	99.1

高張力異形鉄筋の使用方法の研究 (第2報)

表 3.3 細骨材の物理的性質

種類	比重	吸水量 (%)	フルイを通るものの重量百分率 (%)						粗粒率
			フルイの呼び寸法						
			5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
細砂	2.65	1.7	100	97	92	57	19	0	2.35
粗砂	2.66	2.0	99	87	68	42	14	0	2.90

表 3.4 粗骨材の物理的性質

比 重	吸 水 量 (%)	フルイを通るものの重量百分率 (%)						粗 粒 率
		フルイの呼び寸法						
		30	25	20	15	10	5	
2.69	2.9	98	95	70	40	17	0	7.13

表 3.5 コンクリートの配合

配 合 番 号	因 子						W/C (%)	s/a (%)	1 m ³ 当りの使用量 (kg)			
	スランブ (cm)	コンクリート配合 強度 (kg/cm ²)	細骨材 粒 度	セメント	打上り高さ (cm)	鉄 筋			W	C	S	G
1-1	2~5	300	2.35	住友	30	C	63	41	173	274	785	1157
1-2				開発	180	G-1						
2-1			2.90	開発	30	G-1	63	43	173	274	835	1106
2-2				住友	180	C						
3-1		400	2.35	開発	30	G-1	50	38	173	346	711	1170
3-2				住友	180	C						
4-1			2.90	住友	30	C	50	41	173	346	764	1124
4-2				開発	180	G-1						
5-1	8~11	300	2.35	開発	30	C	63	41	183	291	769	1132
5-2				住友	180	G-1						
6-1			2.90	住友	30	G-1	63	43	183	291	819	1081
6-2				開発	180	C						
7-1		400	2.35	住友	30	G-1	50	38	183	366	694	1143
7-2				開発	180	C						
8-1			2.90	開発	30	C	50	41	183	366	745	1092
8-2				住友	180	G-1						

わりつけて、ブリージング量、圧縮強度および付着強度を測定した。

(2) 試験材料およびコンクリートの配合

セメントはメーカーの異なる2種の普通ポルトランドセメントを使用した。表 3.2 はその試験成績である。細骨材は静岡県富士川産のもので、5 mm フルイおよび 1.2 mm フルイでふるい分けのち、再び適当に組み合わせた細砂と粗砂の2種でその物理的性質は表 3.3 に示した通りである。粗骨材は神奈川県酒匂川産のもので、その物理的性質は表 3.4 に示した通りである。鉄筋は、SD35、呼び名 D16 の異形鉄筋 C と G-1 を使用した。いずれも断面形状は円形に近いが、C は軸と 58° の角度を有する斜めの平行フシ、G-1 は軸と 69° で交わる波形フシを有し、鉄筋 C の付着強度は G-1 に比べて大きいのが特徴である（第 1 報参照 たとえば、水平上筋の場合 C:35.5 kg/cm², G-1:30.1 kg/cm²）。鉄筋はブラシでサビを除き、トリクロロエチレンで油類を除去した後に使用した。コンクリートの配合は表 3.5 に示した通りである。

(3) コンクリートの打込み

コンクリートの練りまぜには容量 200 l の強制練りミキサーを使用した。セメントと砂を投入し 1 分間空練りした後、練りまぜを続けながら水と粗骨材を加え 3 分 30 秒練りまぜた。材料はいずれも練りまぜに先立って 2 日前に恒温室 (20°C) に搬入し、その温度を一定として使用した。コンクリートはミキサーより排出後、直ちに恒温恒湿室 (20°C, 100% R.H.) に搬入して供試体を製作した。

コンクリートの締め固めには、棒状内部振動機を使用した。打込み高さ 30 cm の供試体は 2 層に分けて打込み各層ごとに径 25 mm、振動数 7000~8000 r.p.m. の振動機を用いて締め固めた。打上り高さ 180 cm の供試体は 3 層に分けて打込み、径 29 mm、振動数 8000 r.p.m. の振動機を用いて各層ごとに締め固めた。振動機の挿入回数は各層ごとに φ15 cm の円柱供試体は 3 回、15×15 cm の角柱供試体には 4 回とした。

(4) 供試体の製作

圧縮強度試験用供試体は φ15 cm の円柱形で、高さ 30 cm の側面型わくを水密的に何段でも重ね得る構造のものを 6 段重ねとした型わくを用いて製作した。その他、各試験条件ごとに φ15×30 cm の標準供試体を 4 個製作し、3 個は強度試験に供し、残りの 1 個は打上り高さ 30 cm のときのブリージング試験に供した。打上り高さ 180 cm の供試体でも上面でブリージング量を測定

した。コンクリートの表面はこてで均した後、湿紙とガラス板で覆い、水分の蒸発を防止した。これらの供試体は、材令 1~2 日で脱型した後、コンクリートカッターで長さ 30 cm に切断し所定の材令まで 20°C で水中養生した。

付着強度試験用供試体は断面 15×15 cm の角柱形で、打上り高さ 180 cm の場合には、あらかじめ組み立てた高さ 60 cm の木製型わくを 3 段積みとして打込んだ。型わくと鉄筋埋込みの要領を図 3.1, 3.2 に示す。木製型わくを用いた供試体では、板材の接合部などにバテとグリースを十分詰めて漏水防止を計ったが多少の漏水が認められた。鉄筋は 2 本のリブが同一平面内になるように埋込んだ。上面仕上げ後の処理は圧縮強度試験用供試体と同様である。材令 1~2 日後で脱型した供試体は、15×15×15 cm の立方供試体になるように切断し、所定の材令まで 20°C で水中養生した。

図 3.2 において、圧縮強度試験用の供試体 Co30 は、コンクリートの打上り高さ 30 cm の標準供試体を示し、C30~C180 は、φ15×180 cm のコンクリート柱の下層より 30 cm の高さごとに切り出した供試体を指す。一方、付着強度試験用の供試体の Bo30 は、15×15×30 cm の角柱を鉄筋までの打上り高さが 22.5 cm となるよう鉄筋を水平の位置に固定したもので、B30~B180 は、コンクリート角柱 (15×15×180 cm) の所定の位置に鉄筋を水平に埋め込み、下方より図中で斜線の部分の 15 cm を、その打上り高さに応じて定めた供試体である。

(5) 試験方法

ブリージングは、JIS A1123-1957 “コンクリートのブリージング試験方法” に準じて試験した。コンクリート上面に留ったブリージング水をメスシリンダーに集水し測定後ただちに水をもどした。

付着強度は、ASTM C234-62 “Test for Comparing Concretes on the Bases of the Bond Developed with Reinforcing Bars” に準じて試験した。ただし、付着強度 τ_0' は第 1 報の試験結果に基づき、自由端の滑り量を最小目盛 1/1000 mm のダイヤル・ゲージで測定して次式によって評価した。

$$\tau_0' = \frac{1}{3}(\tau_{005}' + \tau_{010}' + \tau_{015}')$$

ここで、 τ_{005}' , τ_{010}' , τ_{015}' は自由端における滑り量それぞれ 0.005, 0.010, 0.015 mm のときの付着応力度 (kg/cm²)、圧縮および付着強度試験は、いずれも材令 28 日で実施した。

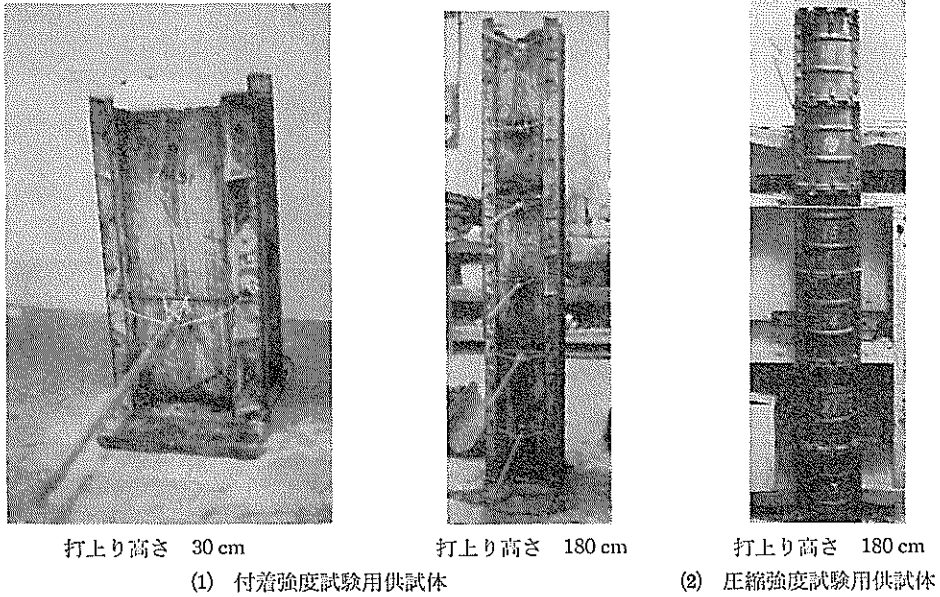


図 3.1 強度試験用供試体の型わく建込み状況

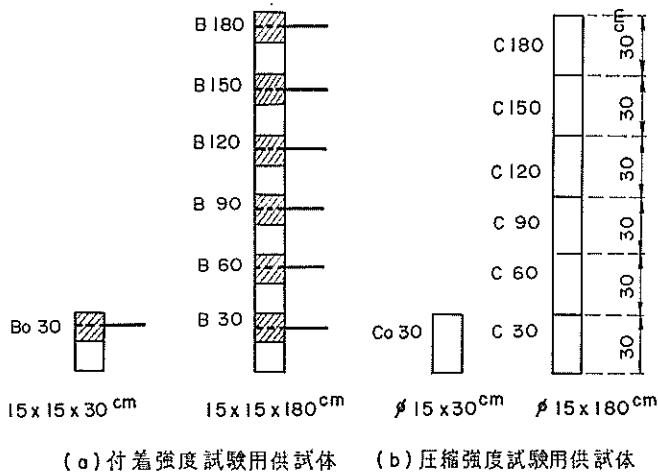


図 3.2 強度試験用供試体の形状と寸法

3.2. 試験結果および解析方法

試験結果は、表 3.6 に示した通りである。供試配合のうち 1, 2 のものはそのスランプと強度 σ_{28} 共に当初に予定した範囲に含まれているとはいえず、これが結果の解析における誤差分散ないし主効果の信頼限界を大きくした原因であると考えられる。所期の水準と大幅に相違する測定値は、これを除外し、欠測値として二乗和が最小となるように修正した値を用いた。

試験値の解析は、2 段階による要因分析によった。因子、交互作用はいずれも危険率 10% を基準として有意差を検定した。母集団の信頼限界の推定はいずれも危険率 10% において求めた。圧縮強度、付着強度は打上り高さ 180 cm におけるコンクリート柱の各層 (C30~C180) を個々に取り上げて、打上り高さ 30 cm の Co30 および Bo30 と比較した。

表 3.6 試 験 結 果

配合 番号	スラ ンプ (cm)	ブリージング量 ($\times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{cm}^2$)		σ_{28} (kg/cm^2)	圧 縮 強 度 (kg/cm^2)						付 着 強 度 (kg/cm^2)					
		$\phi 15 \times 30$	$\phi 15 \times 180$		(Co30) C30	C60	C90	C120	C150	C180	(Bo30) B30	B60	B90	B120	B150	B180
1-1	2.1	62	—	—	(311)	—	—	—	—	—	(19.3)	—	—	—	—	—
1-2	2.8	54	113	311	250	289	336	336	297	310	14.0	35.2	46.0	55.2	52.6	59.2
2-1	3.5	76	—	—	(279)	—	—	—	—	—	(27.0)	—	—	—	—	—
2-2	4.2	76	124	228	197	214	198	228	209	229	5.2	14.7	49.9	40.0	34.5	34.2
3-1	3.1	34	—	—	(448)	—	—	—	—	—	(34.8)	—	—	—	—	—
3-2	2.8	51	56	388	347	431	415	433	433	426	15.4	40.7	66.2	39.5	64.4	41.6
4-1	7.0	59	—	—	(352)	—	—	—	—	—	(54.5)	—	—	—	—	—
4-2	7.8	45	71	406	342	405	412	404	387	432	24.2	53.6	73.0	53.9	63.4	44.9
5-1	8.5	79	—	—	(303)	—	—	—	—	—	(30.7)	—	—	—	—	—
5-2	8.7	88	108	290	208	257	229	236	248	239	23.8	30.5	68.2	58.4	48.7	34.6
6-1	9.2	79	—	—	(331)	—	—	—	—	—	(20.5)	—	—	—	—	—
6-2	9.5	79	76	304	239	240	247	273	252	245	14.3	68.5	37.5	46.2	55.6	47.5
7-1	8.7	11	—	—	(370)	—	—	—	—	—	(26.1)	—	—	—	—	—
7-2	10.2	85	20	377	342	370	344	337	330	368	28.2	36.6	77.5	66.5	73.8	59.7
8-1	9.1	56	—	—	(414)	—	—	—	—	—	(21.8)	—	—	—	—	—
8-2	9.2	56	85	394	385	346	346	403	357	374	23.8	39.9	44.4	58.2	71.9	71.7

3.3. 細骨材粒度、配合強度および打上り高さがブリージングにおよぼす影響

ブリージング量は注水後 2~3 時間程度で最大に達した。要因分析によると比較した因子の中でコンクリートの配合強度はブリージング量と最も密接な関係にあり、ついで打上り高さや細骨材の粗粒率もブリージング量に大きな影響を与える。図 3.3 は、上記有意差の存在する因子の母平均の信頼限界を推定したものである。

細骨材粒度に関してブリージング量を比較すると F.M.₁=2.90 の場合のブリージング量は、F.M.₂=2.35 の場合に比べて約 30% 大きく、粗粒率が大きいほど、換言すれば、粒度の粗いものほどブリージングが多くなる傾向を示している。このような傾向は注入モルタルの場合にも認められ、粒子の細くなるに伴って比表面積が増し、保水能力も増えてブリージングが減少するものと思われる³⁾。

配合強度が 400 kg/cm^2 のコンクリートのブリージング量は配合強度 300 kg/cm^2 の場合に比較して、その平均値で約 45% 減少した。一方、スランプの主効果およびスランプとコンクリート配合強度の交互作用は必ずしも有意性を示していない。このように、見かけ上、配合強度がブリージング量と最も密接な関係を示したのはつぎのような理由によるものと思われる。すなわち、比較

したスランプ約 5 cm の相違は、単位水量を 10 kg 程度変化させるだけであるが、これに反し、配合強度 100 kg/cm^2 の増加は単位セメント量約 70 kg の増加に相当し、本試験で取り上げた配合条件の範囲では、前段で述べたような理由により単位水量の変化に比較して、単位セメント量の変化がブリージング量により大きな影響をおよぼしたためと考えられる。

コンクリートの打上り高さについてブリージング量を比較すると 30 cm と 180 cm とでは、ブリージング量は約 30% 変化し、打上り高さの増加に伴ってブリージング量も増加する傾向を示している。しかし、絶対量は、それぞれ 0.057 cm^3/cm^2 および 0.082 cm^3/cm^2 でありその差は、打上り高さの差に比べて大きいとはいえない。ブリージング水の上昇が抑制され、上面のブリージング水滞留に影響をおよぼす範囲は、上面よりある一定領域に限られると推定される。

上述のようにブリージング量は打上り高さの大きいものほど大きいようであるが、これは必ずしも高さの増加に応じてブリージング量も増加することを意味するものではない。後述のように、打上り高さや強度ないし付着強度との関係を併せて考えると、コンクリートのある程度の高さに打上げた場合、ブリージングによる水が滞留してこれが強度に影響をおよぼすのはコンクリートの上

高張力異形鉄筋の使用法の研究 (第2報)

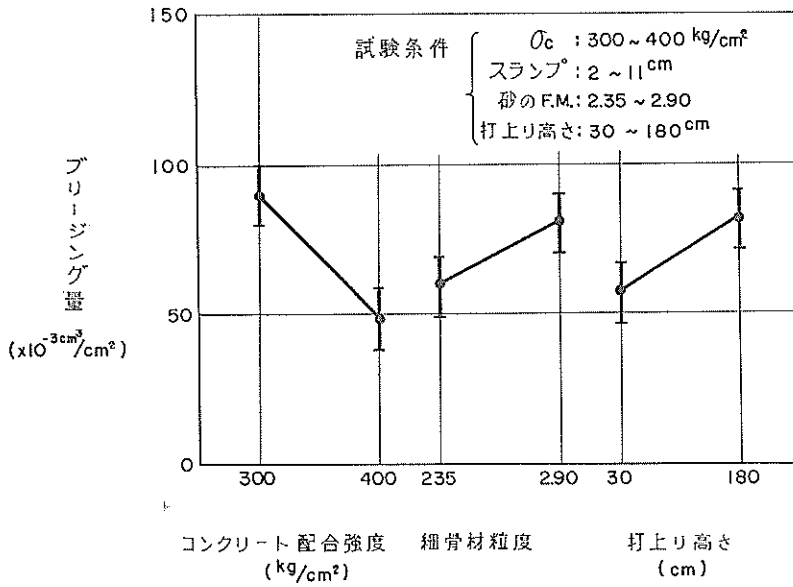


図 3.3 プリージング量に有意差を与えた因子と試験結果の信頼限界 (危険率 10%)

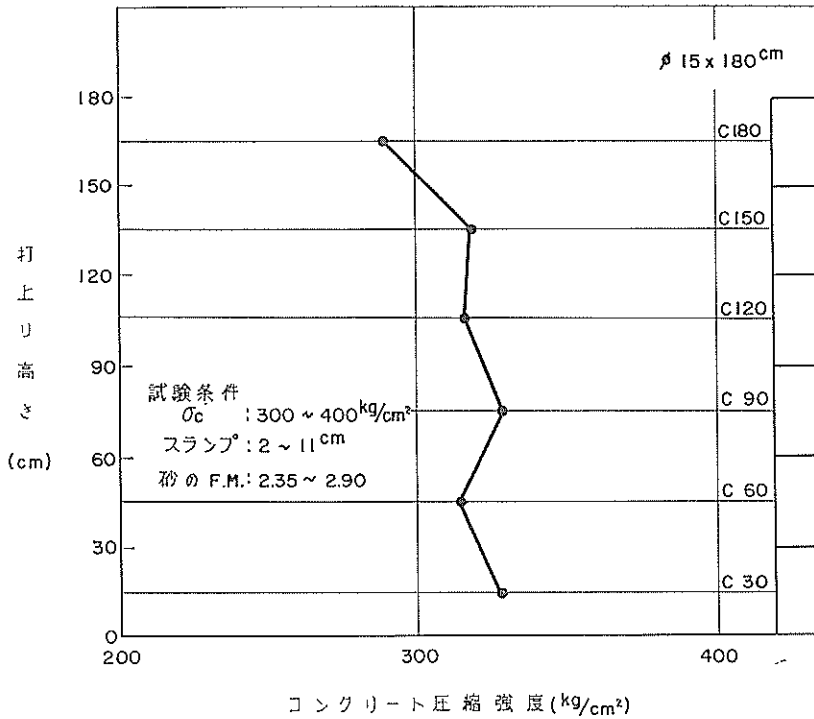


図 3.4 コンクリート柱 ($\phi 15 \times 180$ cm) の各層における圧縮強度の変化

面より一定の深さに限られるものようである。

3.4. 打上り高さが圧縮強度におよぼす影響

要因分析により、危険率 10% で有意と判定された因子はコンクリートの配合強度と打上り高さのみであった。前者による有意性は、実験計画の段階において、この因子の水準として 300 kg/cm² と 400 kg/cm² を選定したことに基づくもので、試験結果はコンクリート柱の各部の圧縮強度もほぼ 100 kg/cm² の強度差を示している。本試験のように配合条件を仮定した場合、スランブ、細骨材粒度、セメントの品質等の因子がコンクリートの圧縮強度に影響しないのは当然である。

打上り高さ 180 cm のコンクリート柱の各層の強度は図 3.4 に示した通りで、C30~C150 では強度はほぼ一定であるが、最上層 C180 の強度低下は著しく、C30~C150 の平均値 324 kg/cm² に比べて、C180=289 kg/cm² で約 10% 小さい値が得られた。この上下層の強度差は軟練りコンクリート(スランブ 15~20 cm)を使用した児玉氏の試験結果による最上層と下層の強度差⁹⁾、あるいはプレパックドコンクリートにおける最上層と下層の強度差¹⁰⁾ に比較して若干少な目であるが、試験値のバラツキや試験条件の差も考慮すれば、いずれもほぼ類似した傾向を示すといえる。打上り高さ 180 cm のコンクリート柱と同時に製作した標準供試体の平均値は 337 kg/cm² でありコンクリート柱の表層 30 cm を除く各部の強度の平均値とほぼ一致する。このような、表層部分の強度低下はブリージングの影響によるもので、ブリージングによって上昇した水が表層付近に滞留して水セメント比が増し、強度が減少するものと思われる。

3.5. 配合強度および打上り高さが付着強度におよぼす影響

主効果の認められたコンクリート配合強度および打上り高さの 2 因子の影響について検討する。

表 3.7 はコンクリートの配合強度を比較因子としたときの付着強度の変化をまとめたもので、第 1, 第 2 欄に示した平均値は Bo30 の付着強度と、コンクリート柱の各部の付着強度 (B30~B180) との平均値を表わしている。これより、水平に埋込んだ鉄筋の付着強度はコンクリート配合強度が 300 kg/cm² から 400 kg/cm² に増加すると 10 kg/cm² 程度増加するものようである。第 1 報において、コンクリートの圧縮強度と垂直に埋込んだ鉄筋の付着強度との関連性を検討し、

表 3.7 コンクリートの配合強度の差が付着強度におよぼす影響

供 試 体	平均 値 (kg/cm ²)		差 (kg/cm ²)
	$\sigma_c=300$ (kg/cm ²) の 場 合	$\sigma_c=400$ (kg/cm ²) の 場 合	
Bo30, B30	19.4	28.6	9.2
Bo30, B60	30.8	38.5	7.8
Bo30, B90	37.4	48.9	11.5
Bo30, B120	37.2	43.8	6.6
Bo30, B150	36.1	51.3	15.2
Bo30, B180	34.1	44.4	10.3
平均 値	—	—	10.1

$$\tau_a = 0.094\sigma_{28} + 31.4 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

の関係式を得た。上式に $\sigma_{28}=300$ kg/cm², 400 kg/cm² を代入して、その付着強度差を求めると 9.4 kg/cm² が得られる。本試験は水平に埋込んだ鉄筋についての試験結果であるが、その付着強度の差が上式の計算値とほぼ一致することは、上式が水平埋込鉄筋の場合にも適用しうることを示唆するものといえよう。

図 3.5 は、コンクリート柱各層の付着強度の変化を図示したもので、B30~B120 の付着強度はほぼ一定(平均値 52.9 kg/cm²) であるが、B150 は 40 kg/cm² で約 15 kg/cm² 減少し、最上層では B30~B120 の平均値の約 1/3 に減少する。図 3.5 の破線で示した試験値は、打上り高さ 30 cm のコンクリート柱の上方に水平に埋込んだ鉄筋の付着強度であるが、これは B30 の約 60% である。第 1 報の試験結果¹⁾ によると、鉄筋 C と G-1 の水平埋込み上筋(打り高さ 22.5 cm) の付着強度は水平埋込下筋(打り高さ 7.5 cm) の付着強度の約 65% であって、付着強度の減少が表層部分に限定されることでは共通している。

本試験に用いた型わくは木製で、この型わくがコンクリートの沈下収縮やブリージングを拘束した程度は、鋼製型わくを用いた圧縮強度試験の場合よりかなり大きいと思われる。従って、付着強度と圧縮強度試験の結果を同列において論ずることはできないが、以上に述べた所を総括すれば、打上り高さの増加に伴う付着強度の減少は主としてブリージングの影響によるもので、その影響を受ける部分は表層の 0~60 cm 程度に限定されるようである。

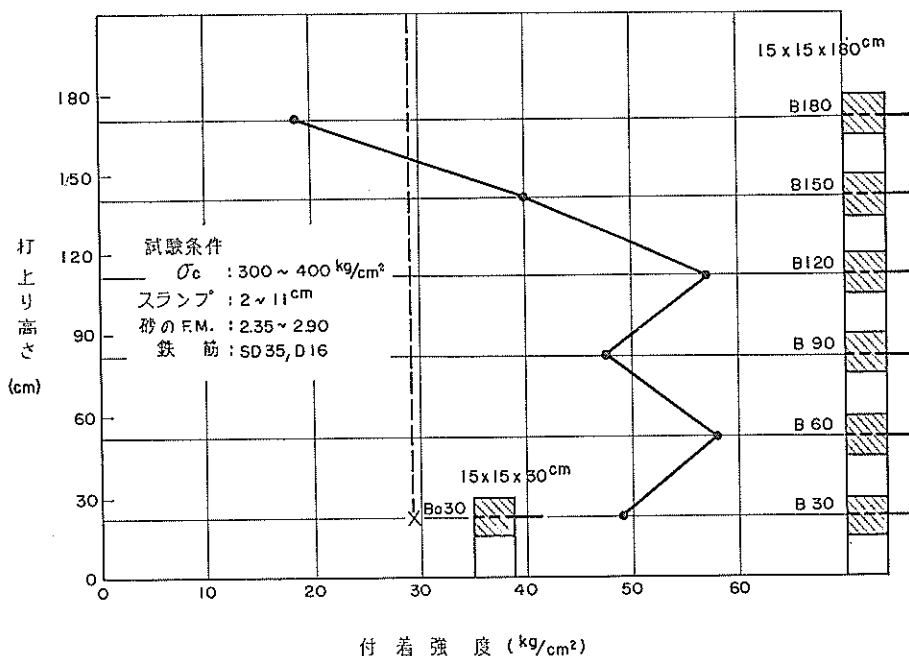


図 3.5 コンクリートの打上がり高さの相違による付着強度の変化

4. 高張力異形鉄筋の曲げ加工が引張強度におよぼす影響

4.1. 試験方法

(1) 供試試験片

第1報では、キレット係数を用いて異形鉄筋の曲げ加工性を定量的に表示することを試み、鉄筋断面の形状、フシ、リブ等の表面形状、フシの鉄筋軸となす角度、フシの取り付け半径等が曲げ加工性に著しく影響することを明らかにした。本試験においては、キレット係数算定の基準とした評点 1, 2, 3 および 4 以上と鉄筋の引張強度特性の関係を検討するために第1報の試験結果に基づい

て3種の鉄筋を選定して用いた。すなわち、大きな評点 3, 4 が数カ所にわたって観察されたもの (I-1)、ほとんどキレットが発見できず良好な曲げ加工性を示したもの (F-2)、曲げ加工性は比較的良好であるが、フシの形状が複雑でフシ交差部分のフシ立ち上り箇所等の特殊な部分にキレットの見られたもの (I-4) の、3種の鉄筋である。これら鉄筋の諸特性は表 4.1 に示した通りである。なお、試験片の個数はいずれも4本とした。

(2) 試験方法

用いた曲げ装置や載荷方法は第1報の曲げ試験に用いた装置や方法と全く同様である。曲げ試験の条件は第1報の試験結果を参考にして、表 4.2 のように定めた。

表 4.1 鉄筋の種類とフシの形状

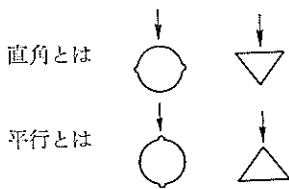
鉄筋名	規格	呼び名	フシの形状※				形状
			軸との角度 (°)	平均間隔 (mm)	高さ (mm)	スキマの和 (mm)	
E-1	SD35	D16	90	11.0	0.6	11.7	横フシ三角筋
F-2	SD40	D16	75	11.0	1.0	8.4	波形類似フシ
I-4	SD35	D22	70	13.0	0.8	5.4	斜め交差フシ

※ 試験片3個の平均値

表 4.2 曲げ試験の条件

鉄筋名	曲げ角度 (°)	曲げ戻し 角度 (°)	曲げ直径	载荷方向※ (リブに対し)
E-1	45	45	3.5D	直 角
				平 行
			5D	直 角
				平 行
	90	90	3.5D	直 角
				平 行
5D			直 角	
			平 行	
F-2	90	90	3.5D	直 角 平 行
I-4	90	90	3.5D	直 角
				平 行
			5D	直 角
				平 行

注) いずれも試験片は4個
※ 载荷方向



鉄筋の曲げもどしに際しては所定の曲げもどし角度(45°および90°)に達し、鉄筋軸が直線になった時点でただちに荷重を解放した。このため、曲げ戻し後の鉄筋には多少の変形が残り、曲げ中心付近で鉄筋軸が10~20°の角度で曲がった状態となっている。鉄筋は曲げ試験後25~30°Cの室内に静置した後、曲げ戻し試験に供し曲げ戻し終了時に鉄筋わん曲部等のキレツ状況を観察した。試験片は曲げ戻し試験後にさらに25~30°Cの室温で32~40日間の時置時間を経過せしめた後、引張試験に供した。前述したように試験片は曲げ中心付近で多少わん曲した形のままで平鋼用のチャックを用い引張試験に供した。引張試験には容量100tの油圧式万能試験機(東京衡機製作所製)を用いて、載荷速度はD16, D22

に対しそれぞれ1,200 kg/min, 2,300 kg/minとした。

4.2. 曲げキレツと破断点

曲げ戻し試験におけるキレツの程度の評価判定基準は第1報に述べた所と全く同様である。表4.3は曲げ戻し試験後の各試験条件ごとのキレツ発生の程度をキレツ係数で表示したものである。ただし本表では第1報の試験結果との比較を容易にするために、キレツ係数を試験片3本についての値に換算表示してある。

曲げキレツは曲げ中心付近で曲げ戻し試験時の引張側に集中的に発生しその分布範囲は曲げ中心よりほぼ2D以内に限定される。図4.1は曲げ中心より破断点までの距離の分布状態を鉄筋の公称直径を基準として表示したものである。これによると破断箇所は曲げ戻しによるキレツ発生箇所とは一致せず、本実験で認められた程度のキレツ(最大幅0.5mm)は必ずしも単純な引張荷重に関する限りでは有害でないことを示すものであろう。たとえば最大0.5mmに達するキレツの発生した鉄筋E-1, No. 2の破断箇所は曲げ中心よりほぼ10Dの距離にありその他の鉄筋においてもこの距離は5D~8D程度である。

4.3. 曲げ加工が引張特性におよぼす影響

曲げ戻し試験後に行なった鉄筋の引張試験結果は表4.4に示した通りで、同表には曲げ加工をなら加えていない試験片の引張試験結果も併せて表示した。試験数が少数であるため厳密な解析は困難であるが、同一の母集団から採取された試験片グループに関して、これらを2別した変量モデルの母集団から採取された試験片としてその平均値を危険率10%で検定を行なった。これによると、ある特定の試験条件の場合には、降伏点ないし引張強度について有意差があると判定されたが、母集団の平均の差は小さくかつ試験片の少ないことを考慮すると実用上差がないと考えてよいであろう。丸安、小林は本実験におけるキレツ等級A~Cに相当するキレツでも鉄筋の強度になら有害な影響をおよぼさないと結論し⁵⁾、横道もキレツを5段階に分け比較的大きなキズであっても必ずしも鉄筋の強度低下を伴わないことを示しており⁶⁾、本試験結果もこれらとほぼ一致するものと思われる。曲げおよび曲げ戻しによる冷間加工の程度は場所によって異なり、キレツの発生した曲げ中心付近は冷間加工によって降伏点と引張強度が増加するためかなり大きなキレツがあっても曲げ中心付近では破断せず、曲げ加工を受けない領域の引張特性が試験結果を支配し、従って、素材との差が認められないものと思われる。

表 4.3 曲げ戻し試験後の鉄筋のキレット係数

鉄筋名	曲 げ 条 件				フ シ	フシとリブ の交差部分	フ シ 交差部分
	曲げ角度 (°)	曲げ戻し角度 (°)	曲げ直径	載荷方向 (リブに対し)			
E-1	45	45	3.5D	直 角	0	0	—
				平 行	54	40	—
			5D	直 角	22	19	—
				平 行	11	8	—
	90	90	3.5D	直 角	14	8	—
				平 行	128	116	—
			5D	直 角	16	2	—
				平 行	75	67	—
F-2	90	90	3.5D	直 角	17	—	—
				平 行	0	0	—
I-4	90	90	3.5D	直 角	10	—	21
				平 行	52	13	0
			5D	直 角	0	—	8
				平 行	23	1	0

注) 第1報の試験結果との比較を容易にするため試験片4個のキレット係数の総和を 3/4 倍して、3個の試験片に換算した値を示した。

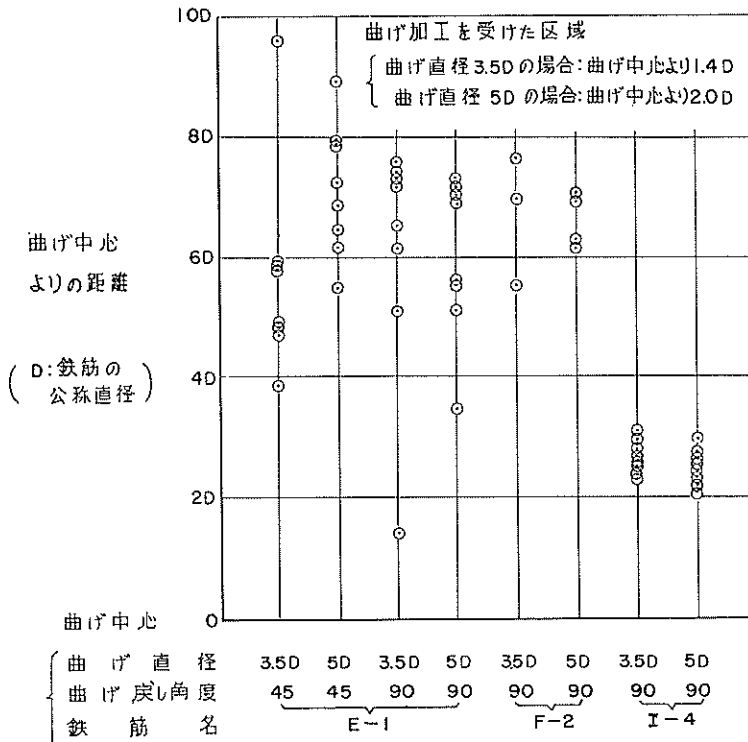


図 4.1 曲げ戻し試験後の引張試験における破断箇所の位置

表 4.4 曲げ戻し後の試験片の引張試験結果

鉄筋名	曲 げ 条 件				降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 度 (kg/mm ²)	伸 び (%)				
	曲げ角度 (°)	曲げ戻し 角度 (°)	曲げ直径	載荷方向 (リブに対し)							
E-1 ※ (素材)	—	—	—	—	40.5	57.2	23.9				
E-1	45	45	3.5D	直 角	39.3 } 39.5 } 41.0 } 41.0 }	40.2	56.4 } 56.4 } 57.6 } 57.2 }	56.9	19 } 19 } 14 } 18 }		
				平 行	41.0 } 39.5 } 39.8 } 39.8 }	40.0	57.6 } 56.1 } 56.6 } 56.6 }	56.7	22 } 19 } 19 } 19 }		
			5D	直 角	39.5 } 38.5 } 39.5 } 39.8 }	39.3	56.6 } 55.1 } 56.4 } 56.4 }	56.1	23 } 16 } 16 } 19 }		
				平 行	40.8 } 39.0 } 41.0 } 40.8 }	40.4	57.6 } 56.1 } 57.6 } 56.4 }	56.9	22 } 22 } 18 } 20 }		
			90	90	3.5D	直 角	40.8 } 40.8 } 40.8 } 40.5 }	40.7	57.2 } 58.2 } 58.4 } 56.9 }	57.7	21 } 17 } 11 } 13 }
						平 行	38.8 } 38.5 } 40.3 } 40.3 }	39.5	55.6 } 55.4 } 56.9 } 56.9 }	56.2	16 } 16 } 16 } 18 }
	5D	直 角			40.5 } 40.8 } 38.5 } 39.5 }	39.8	57.6 } 58.4 } 55.1 } 56.4 }	56.9	18 } 16 } 17 } 18 }		
		平 行			39.5 } 39.3 } 40.8 } 39.5 }	39.8	57.2 } 56.6 } 57.6 } 56.9 }	57.1	14 } 14 } 16 } 18 }		
	F-2 ※ (素材)	—	—	—	—	46.2	66.2	23.3			
	F-2	90	90	3.5D	直 角	46.6 } 48.3 } 46.1 } 47.6 }	47.2	65.7 } 67.7 } 65.4 } 67.2 }	66.5	— } 16 } 18 } 22 }	
					平 行	46.6 } 46.3 } 46.6 }	46.5	64.4 } 65.4 } 65.4 } 65.7 }	65.2	14 } 14 } 16 } 14 }	
	I-4 ※ (素材)	—	—	—	—	36.6	56.5	27.1			
I-4	90	90	3.5D	直 角	—	—	56.8 } 56.6 } 56.6 } 56.3 }	56.6	12 } 22 } 14 } 20 }		
				平 行	36.7 } 36.9 } 37.2 }	36.9	56.0 } 56.6 } 56.6 } 56.8 }	56.5	14 } 18 } 12 } 14 }		
			5D	直 角	—	—	56.8 } 56.8 } 56.8 } 56.8 }	56.8	20 } 14 } 22 } 14 }		
				平 行	36.9 } 36.9 } 37.7 } 36.7 }	37.0	56.8 } 56.8 } 56.8 } 56.8 }	56.8	21 } 14 } 14 } 20 }		

※ 素材試験片の平均値（試験片 3 個）を表わす。

一方、伸びについて素材試験片との差について検定した所、1, 2の例外を除いて危険率10%で伸びの低下が認められた。図4.1によるといずれの破断点も曲げ加工の影響を受けた領域外であるが、伸びはいずれもA区域あるいはB区域破断となるように標点距離を選択して測定しているため、その測定範囲は曲げ加工の影響を受けた領域と重なっている。曲げ戻し後の引張による降伏点や引張強度が曲げ加工の影響を受けないにもかかわらず伸びが低下したのは上述の理由によるものと思われる。

本試験の範囲では、いずれの試験片のキレットも0.5mm以下でありこの程度のキレットでは曲げ加工性の異なる試験片の、引張特性に対する影響は認め難い。

5. 結 論

昭和40年～昭和42年に亘って、高張力異形鉄筋の使用状況、各種高張力異形鉄筋の引張特性、品質の変動、曲げ加工性およびコンクリートの付着特性について調査研究を実施した。その結果の一部は第1報で報告し残りは本報告(第2報)で報告した。ここで第1報と第2報の結果を取り纏めて結論とする。

5.1. 高張力異形鉄筋の使用状況調査は、昭和40年度における35件の直轄港湾工事を対象としたもので、つぎの事柄が観察された。

- (1) 異形鉄筋を使用した港湾構造物としては、鉄筋コンクリートケーソンやブロックなどが全体の3/4を占め残りは棧橋上部工などである。
- (2) 鉄筋の許容応力度が比較的高めに取られているのに比較してコンクリートの許容曲げ圧縮応力度は低目に押えられており、鉄筋の高張力性を適切に利用しているとはいえない。
- (3) 2, 3の例外を除いて鉄筋の継手は重ね合わせ継手であるが、鋼管杭等の型钢との継手にアーク溶接を用いた例は少なくない。
- (4) 鉄筋コンクリートケーソン等の構造物では1回の打込みにおけるコンクリートの打上り高さは2~4mに達する例が少なくなく、用いたコンクリートもスランプが $10 \pm 2 \text{ cm} \sim 15 \pm 3 \text{ cm}$ 程度のものが多い。

5.2. 高張力異形鉄筋の引張特性は、降伏点、引張強度および伸びの3要因について試験して評価した。試験片は数多い市販品の中からSD30でD16のもの1種、SD35でD13, D19およびD22のもの各1種、SD35で

D16のもの8種、SD40でD16のもの3種、合計15種の表面形状や断面形状の相違する代表的な異形鉄筋を抽出したもので、素材試験片と共に継手部をガス圧接した試験片も併せて試験した。試験結果を要約するとつぎの通りである。

- (1) 高張力異形鉄筋はその降伏点と引張強度の規格値との関連においてつぎの3グループに大別できる。すなわち、まれな例ではあるが規格値をわずかに下回るもの、規格値を満足する範囲で規格値に近似した値を示すものおよび規格値をかなり(10~20%)上回るものである。降伏点と引張強度の高い鉄筋は概して伸びが小さく、後述するようにこのグループの鉄筋の曲げ加工性は概して不良である。降伏点はその保証値を満足する範囲で小さい値であることが望ましい。

- (2) ガス圧接試験片の降伏点と引張強度は、素材試験片のそれとほとんど相違せず、ガス圧接による熱影響領域は圧接中心より2~3D以下と推定され伸びは素材試験片の伸びの80%程度に低下した。

5.3. 異形鉄筋の品質の変動を評価するために、昭和41年度直轄港湾工事の現場から鉄筋試験片を無作為に抽出し、その降伏点、引張強度および伸びを試験した。試験片は、呼び名、鉄筋名、使用工事事務所、チャージ番号が相違するSD30については24単位、SD35は32単位である。ただし、1単位の試験片数は4ないし8本とした。試験結果を要約するとつぎの通りである。

- (1) いずれの試験片も規格値を満足するが異形鉄筋のロット内変動は概して小さく変動係数の平均値は、降伏点、引張強度、伸びについて、それぞれ0.9%、0.7%、4.1%であった。
- (2) 異形鉄筋のチャージ間の変動は、ロット内変動に比較し多少大きな値を示す。降伏点、引張強度に対してはその変動係数はほぼ2~3%であり、伸びのそれは3~4%程度である。
- (3) 本試験に供した試験片についての試験結果とこれに添付されたミルシートを比較すると、ミルシートは試験片の引張特性をほぼ表わしているといえる。

5.4. 異形鉄筋とコンクリートとの付着特性は、ASTM C234-62に準じた引き抜き方法で評価した。付着強度と圧縮強度の関係を求める試験では、スランプ $8.5 \pm 1.0 \text{ cm}$ 、空気量 $4.0 \pm 1.0\%$ 、 $\sigma_{28} = 190 \sim 350 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートを用い鉄筋は垂直に埋め込んだ。異形鉄

筋の表面形状や断面形状の相違が付着強度におよぼす影響および鉄筋のサビが付着強度におよぼす影響を調べる試験には、スランプ 8.5 ± 1.0 cm, 空気量 $4.0 \pm 1.0\%$, $\sigma_{28} = 280$ kg/cm² のコンクリートを用いた。この結果よりつぎの結論が導かれた。

- (1) コンクリートの圧縮強度が実用的な値の範囲では、付着強度は圧縮強度にほぼ直線的に比例して増加しその関係は次式、

$$\tau = 0.094\sigma_{28} + 31.4 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

で表わすことができる。

- (2) 鉄筋の自由端における滑り量が 0.005 mm, 0.010 mm および 0.015 mm のときの付着応力度の平均値 τ_0' は、荷重端の滑り量を基準にして求めた付着強度 τ_0 とほぼ同一の傾向を示し、自由端における滑り量から鉄筋の付着強度をかなり適確に評価できる。
- (3) D16 の鉄筋ではフシの高さは、その差が 30% の範囲では、付着強度にあまり影響しない。
- (4) 概略の傾向として、異形鉄筋の付着強度はフシの形状によって相違し、横フシ、波形フシ、波形類似フシ、波形交差フシの順で減少し、その比は 1.0 : 0.9 : 0.8 : 0.7 程度である。
- (5) 表面形状がほぼ同一の鉄筋では、その断面形状が付着強度に影響する。三角形断面は、円形断面に比べて、付着強度が約 30% 大きくなるが周長比の増えた割合には増加しない。
- (6) D16 の鉄筋では、水平上筋（鉄筋までのコンクリート打上り高さ 22.5 cm）および水平下筋（同 7.5 cm）の付着強度は垂直筋のそれぞれ 77% および 54% であった。鉄筋径の異なる場合、垂直筋に対する付着強度比は水平上筋で D13 : D16 : D19 : D22 = 28 : 45 : 46 : 57, 水平下筋については同比は 66 : 72 : 82 : 96 となり、細径鉄筋程水平埋め込みによる付着強度の減少が著しい。
- (7) 6 カ月程度、海辺に放置し浮きサビの発生しはじめた鉄筋の付着強度はサビのまったく発生していない鉄筋の約 110% で、この程度のサビは付着強度に有害とはいえない。

5.5. コンクリートと鉄筋の付着強度をコンクリートの材料分離の観点から捉えることを目的として、ブリージングに大きな影響を与えられられるコンクリートの打上り高さ、スランプ、コンクリート配合強度、細骨材粒度、セメントの品質、鉄筋などの因子を抽出し、ブ

リージング量、圧縮強度および付着強度の試験を実施した。試験結果を要約するとつぎの通りである。

- (1) 細骨材の粒度、コンクリートの配合強度はブリージングに影響する有力な要因であって、たとえば、 $\sigma_c = 400$ kg/cm² と $\sigma_c = 300$ kg/cm² のコンクリートのブリージング量比は、0.55 : 1.0 程度である。本試験に取り上げた配合条件の範囲では、単位セメント量がブリージングに大きな影響をおよぼすと考えられるが、セメントや微細骨材などの微粒子の量とブリージング量の定量的な関係は把握されなかった。
- (2) コンクリートのブリージングはその打上り高さによって変化し、打上り高さが増加するとブリージングも増加するが、その増加の割合は打上り高さの増加の割合ほど大きくなく、ブリージングが強度に影響する領域はコンクリート上面より比較的浅い表層に限定されるものようである。
- (3) 打上り高さ $\phi 15 \times 180$ cm のコンクリート柱の上部 30 cm を除く各部の圧縮強度はほぼ一定であり、 $\phi 15 \times 30$ cm の標準供試体の強度とほぼ一致する。コンクリート柱最上層 30 cm の強度は、標準供試体強度の 90% 程度であった。
- (4) 水平埋込み鉄筋の付着強度は当然ながらコンクリートの配合強度の増加に応じて増加し、たとえば、配合強度が 300 kg/cm² と 400 kg/cm² のコンクリートの付着強度差は約 10 kg/cm² であった。
- (5) 打上り高さの大きいコンクリートに水平に埋込んだ鉄筋の付着強度は、表層 0~60 cm の部分を除くと高さに関係なくほぼ一定であるが、上面より 30~60 cm の区間で多少低下し、表層の 0~30 cm の区間では下層の平均値の 1/3 程度まで減少する。このようなコンクリート柱の表層部分の付着強度の減少は、ブリージングの影響によるものと思われる。

5.6. 鉄筋の曲げ試験には、素材試験片とガス圧接試験片を用い、載荷方向、曲げ角度、曲げ戻し角度、曲げ半径などを変えて試験した。曲げ加工性は、発生したキレットの幅、大きさおよび数を数量化した“キレット係数”を用いて定量的に評価することを試みた。さらに、曲げ加工性の異なる 3 種の鉄筋を抽出して、曲げ加工後の引張試験を実施して曲げ加工が引張特性におよぼす影響について検討した。この結果つぎのことがいえると思われる。

- (1) キレット係数は、フシ側面の取付半径が著しく小さ

高張力異形鉄筋の使用方の研究（第2報）

い部分やフシが他のフシもしくはリブと交差する部分などのように断面が急激に変化する部分で特に大きな値を示しており、曲げ加工性を高めるためには、フシの取付部や交差部を適当な曲率の曲面で結ぶなどの工夫が必要である。

- (2) 曲げ加工によるキレツ発生の程度は、断面形状によってもかなり変化し、三角形断面の鉄筋はキレツ発生が著しく、円形断面の鉄筋に比べ曲げ加工性はかなり劣るようである。
- (3) 伸びの大きい鉄筋ほどキレツ発生が少なく曲げ加工性が良好である。
- (4) ガス圧接試験片のキレツ係数は素材試験片のそれに比べてかなり大きく曲げ加工性が劣る。これは、ガス圧接部で溶接硬化を生じ、伸び能力が低下するためと思われる。
- (5) 曲げと曲げ戻しによって生じた最大幅 0.5 mm 程度までのキレツは、降伏点と引張強度に、悪影響をおよぼさない。
- (6) 時効脆性ないし曲げ加工性を評価するための曲げおよび曲げ戻し試験の曲げ直径としては、D13～D19 の鉄筋に対し 3.5D 程度、D22 の鉄筋に対しては 5D 程度とするのが適当である。

本調査研究（第2報）は、昭和41年3月より昭和42年8月に亘って本研究所において実施したものである。高張力異形鉄筋の品質の変動を検討するための試験片の収集に際しては、第一～第五港湾建設局の御協力を得た。引張試験は、設計基準部計算室 津端雅史技官に担

当して預いた。付着強度試験および曲げ戻し試験に関しては、構造部材料施工研究室 浅岡邦一技官、小野寺幸夫技官の助力に負うところが大きい。上記、関係者各位に謹んで御礼申し上げる。

なお、“港湾構造物における高張力異形鉄筋の使用方に関する調査研究”は本第2報をもって完了したことを付記する。

引用文献

- 1) 赤塚雄三，岡 博，“港湾構造物における高張力異形鉄筋の使用方に関する調査研究（第1報）”，港湾技術研究所報告，第5巻，15号，80 pp.，1966年9月
- 2) 児玉武三，“打設コンクリートの高さによる性質の変化について”，セメント技術年報，XVIII，pp. 386～394，昭和39年
- 3) 赤塚雄三，“注入モルタルに関する基礎研究”，港湾技術研究所報告，第3巻，6号，186 pp.，1964年11月
- 4) 赤塚雄三，“港湾工事におけるプレパックドコンクリートの施工管理に関する基礎研究”，港湾技術研究所報告，第4巻，6号，pp. 66～67，1965年7月
- 5) 丸安隆和，小林一輔，武藤隼彦，“冷間ねじり加工鉄筋に関する2，3の実験”，土木学会コンクリート・ライブラリー，No. 2，pp. 34～43，1962年12月
- 6) 横道英雄，松井 司，“鉄筋用ねじり棒鋼の機械的性質について”，土木学会コンクリート・ライブラリー，No. 2，pp. 60～65，1962年12月
(昭和43年1月16日受付)