

# 報告 既設構造物の部分撤去に伴う丸鋼の定着に関する検討

竹市 八重子\*1・渡部 太郎\*2・安保 知紀\*3・津吉 毅\*4

**要旨：**既設構造物を改良するため、部分的に構造物を切断・撤去し、配置されている丸鋼を定着させる必要が生じた。最終的には鉄筋端部に半円形フックを圧接して定着を確保するが、実施工を考えると、一時的にフックがない状態となる。そこで、既設構造物に配置された丸鋼の定着性能を把握することを目的に、供用中の高架橋から切り出して製作した試験体による鉄筋引抜き試験を実施した。その結果、今回の場合、鉄筋の定着長を鉄筋径の40倍確保すれば、鉄筋降伏まで鉄筋の抜け出しはないことがわかった。

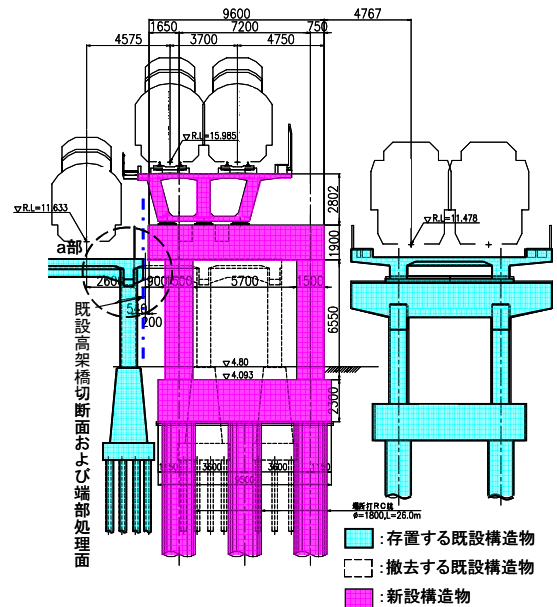
**キーワード：**丸鋼, 定着, 付着, 引抜き力

## 1. はじめに

都市部において鉄道構造物を新設する際に、新たな用地確保が難しいため、供用中の高架橋の使用していない箇所を一部撤去して、スペースを生み出す必要が生じた(図-1参照)。その際、梁やスラブ等の鉄筋を切断する必要があるが、供用中の高架橋が構造的に成り立つよう、切断する鉄筋の定着を確保しなければならない。今回、対象の構造物は、施工が大正11~12年頃であり、また事前のはつり調査結果より、使用している鉄筋が丸鋼であることを確認した。

鉄筋の基本定着長 $l_d$ は、通常鉄道構造物等設計標準・同解説「コンクリート構造物<sup>1)</sup>」に基づき算出し、丸鋼については、基本定着長 $l_d$ を確保するとともに、端部には半円形フックを設けることとなっている。今回、図-1に示すように、最終的には鉄筋端部に半円形フックを圧接して定着を確保することとしたが、実施工を考えると、一時的にフックがない状態が発生することになる。この場合、鉄筋の定着性能に深く関わる丸鋼とコンクリートの付着性状を把握する必要がある。しかしながら、既往の研究において、丸鋼とコンクリートの付着性状について十分に解明されているとは言いがたく、フックがない場合の丸鋼の必要定着長が明確でない。

本報告では、既設構造物における丸鋼の定着長を確認することを目的に、供用中の高架橋から切り出して製作した試験体による鉄筋引抜き試験を実施したので、その結果について報告する。あわせて、予め実施した新品の丸鋼を用いた事前基礎試験の結果についても述べる。検討フローを図-2に示す。



### a部模式図

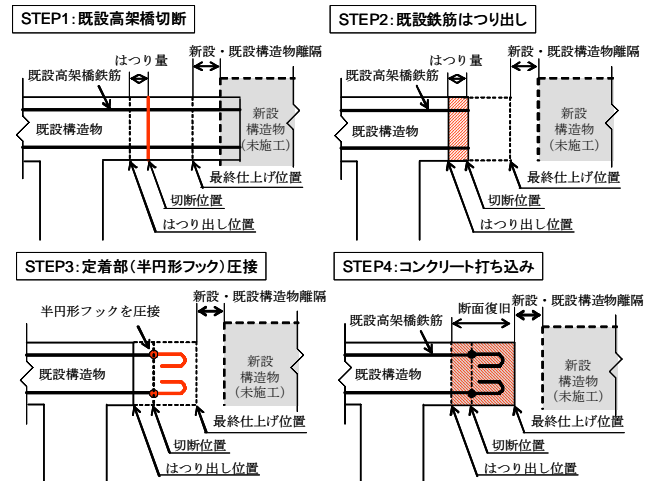


図-1 既設構造物の切断・撤去の状況図

\*1 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 工修 (正会員)  
 \*2 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 副課長 工修 (正会員)  
 \*3 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 土木技術部 工修 (正会員)  
 \*4 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 室長 博士(工学) (正会員)

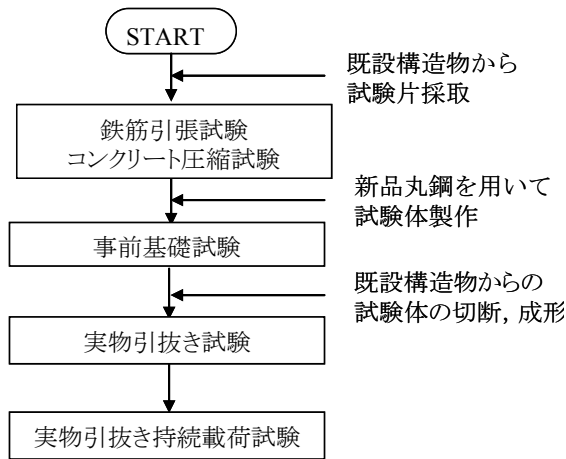


図-2 検討フロー

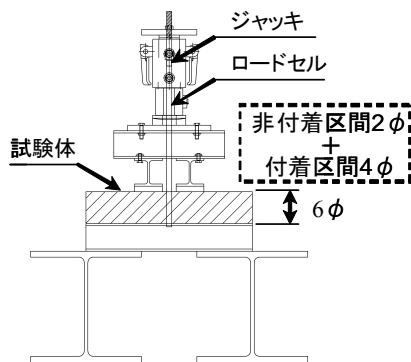


図-3 付着応力度確認試験概要図

表-1 付着応力度確認試験ケース

CASE	鉄筋		コンクリート	付着長
	直径	規格	目標圧縮強度	4φ
1	φ 19	SR235	30 N/mm <sup>2</sup>	76 mm
2	φ 22	SR235	30 N/mm <sup>2</sup>	88 mm
3	φ 25	SR235	30 N/mm <sup>2</sup>	100 mm

表-2 鉄筋引張試験結果

直径	規格	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
φ 19	SR235	334	1723	452
φ 22	SR235	314	1612	432
φ 25	SR235	325	1671	451

表-3 コンクリート圧縮強度試験結果

材齢	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	適用ケース
9 日	28.6	1, 2, 4
10 日	30.2	3, 5, 6

表-4 付着応力度確認試験結果

CASE	付着面積 A (mm <sup>2</sup> )	すべり量 0.002 φ 時の荷重 P (kN)		最大荷重 Pmax (kN)		補正係数 α 30/f <sub>c</sub> (注)	平均付着応力度 P/A × α (N/mm <sup>2</sup> )		最大平均付着応力度 Pmax/A × α (N/mm <sup>2</sup> )	
1	4536	4.83	7.4	5.89	8.7	1.05	1.12	1.71	1.36	2.01
		8.68		10.48			2.01		2.43	
		8.68		9.66			2.01		2.24	
2	6082	16.21	15.7	25.38	22.7	1.05	2.80	2.71	4.38	3.91
		17.11		24.40			2.96		4.21	
		13.76		18.18			2.38		3.14	
3	7854	25.22	25.8	30.79	33.8	0.99	3.19	3.26	3.89	4.27
		28.33		38.32			3.58		4.85	
		23.83		32.26			3.01		4.08	

(注) 補正係数 α は、コンクリートの圧縮強度に対する補正係数。

## 2. 付着応力度確認試験

### 2.1 試験概要

図-2 の検討フローで示す事前基礎試験として、新品丸鋼を用いて付着応力度確認試験を行なった。試験方法は、JSCE-G 503-2007「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法 (案)」(以下、土木学会規準 (案) と記載する。) に従い、鉄筋とコンクリートとの付着区間を 4φ、非付着区間を 2φ として試験体を製作した。試験体の概要を図-3 に示す。

試験はセンターホール型油圧ジャッキを用いて載荷を行ない、載荷速度は鉄筋の引張応力度が毎分 50 N/mm<sup>2</sup> 以下となるようにした。

また計測は、載荷荷重にともなう鉄筋のひずみと試験体下側の鉄筋の抜け出し量を測定した。

試験ケースは、鉄筋径をパラメータとして、表-1 に示す 3 ケースとした。試験は 1 ケースに対して供試体を 3 個製作し、3 供試体の平均値を試験結果とした。

使用した鉄筋の引張試験結果およびコンクリートの圧縮強度試験結果を表-2、表-3 に示す。なお、これらの試験結果は、後述する 3. 引抜き試験にも適用する。

### 2.2 試験結果

表-4 に付着応力度確認試験の結果を示す。全ての試験体において、鉄筋が降伏する前に荷重が低下し、鉄筋が抜け出した。

ここで、土木学会規準 (案) に従い、すべり量が 0.002 φ となる荷重を用いて平均付着応力度を算定し、最大荷重を用いて最大平均付着応力度を算定した。

以上の結果を用いて、鉄筋径と平均付着応力度、最大

平均付着応力度の関係を図-4 に示す。この図より、鉄筋径が大きくなるにつれて平均付着応力度および最大平均付着応力度が大きくなる傾向が見られた。

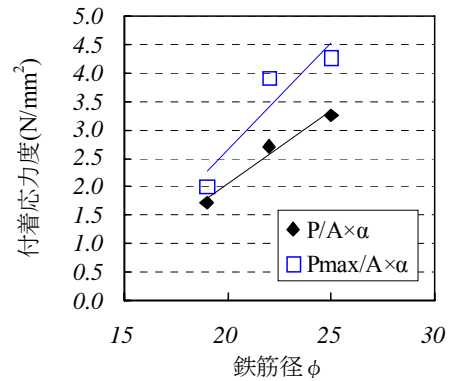


図-4 付着応力度試験結果

### 3. 引抜き試験

#### 3.1 試験概要

次に、事前基礎試験として、2. と同様に新品の丸鋼を使用し、実構造物の定着長を想定した引抜き試験を行った。試験方法は、土木学会規準(案)を参考にした。パラメータは、鉄筋とコンクリートとの付着区間とし、非付着区間を 10φ として試験体を製作した。図-5 に試験体の概要図、表-5 に試験ケースを示す。試験ケースは 3 ケースとし、1 ケースに対して供試体を 3 個作成し、その平均値を試験結果とした。

載荷および計測方法は、付着応力度確認試験と同様とした。

#### 3.2 試験結果

引抜き試験の結果を表-6 に示す。ここで、最大付着応力度は、付着応力度確認試験と同様に算出した。全ての試験体において、鉄筋が降伏する前に荷重が低下し、鉄筋が抜け出す結果となった。定着長と最大付着応力度の関係を図-6 に示す。なお、ここでは付着応力度確認試験のうち φ19 を用いた CASE1 の結果もあわせて図示する。この図より、定着長が長くなるにつれて平均付着応力度が小さくなる傾向が見られた。

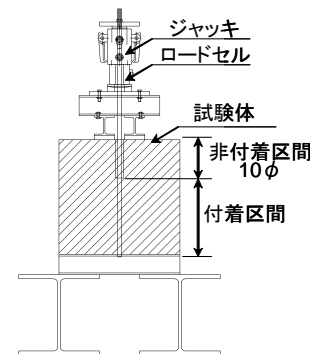


図-5 定着長確認試験概要図

表-5 引抜き試験ケース

CASE	鉄筋		コンクリート	付着長	
	直径	規格			
4	φ 19	SR235	28.6 N/mm²	20 φ	380mm
5	φ 19	SR235	28.6 N/mm²	30 φ	570 mm
6	φ 19	SR235	30.2N/mm²	40 φ	760 mm

表-6 引抜き試験結果

CASE	付着面積 A (mm²)	最大荷重 Pmax (kN)	補正 α (30/f²c)	最大付着応力度 (N/mm²)	
				Pmax/A × α	Pmax/A × α
4	22682	33.2	33.0	1.05	1.54
		37.0			1.71
		28.7			1.33
5	34023	35.0	34.8	1.05	1.08
		35.0			1.08
		34.2			1.06
6	45365	37.8	43.6	0.99	0.83
		45.5			1.00
		47.5			1.04

### 4. 丸鋼の定着に関する検討

付着応力度確認試験より得られた図-4 より、付着面積が大きくなるにつれて平均付着応力度が大きくなる傾向が見られた。ところが、実構造物の定着長を想定した引抜き試験より得られた図-6 では、付着面積が大きくなるにつれて平均付着応力度が小さくなる傾向となった。

最大荷重と定着長の関係を図-7 に示す。定着長が大きくなるほど最大荷重は大きくなるが、荷重増加割合は小さくなる傾向がみられた。このデータを対数曲線で近似すると、次式のとおりとなる。

$$y = 14.497 \ln(x) - 10.681$$

ここで、y: 最大荷重 kN

x: 定着長 (× φ)

この時、相関関係は  $R^2 = 0.9876$  となり、少ないサンプル数ではあるが、比較的高い相関性がみられた。

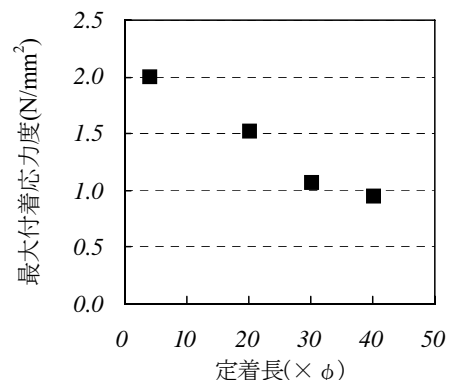


図-6 最大付着応力度と定着長の関係

### 5. 実物引抜き試験

#### 5.1 試験概要

実構造物における引抜き荷重を把握することを目的に、既設高架橋スラブから切り出した試験片を引抜き試

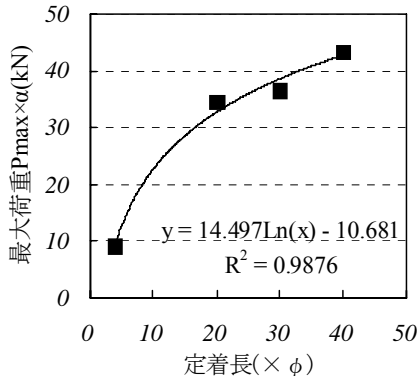


図-7 最大荷重と定着長の関係



写真-1 切り出した試験片例

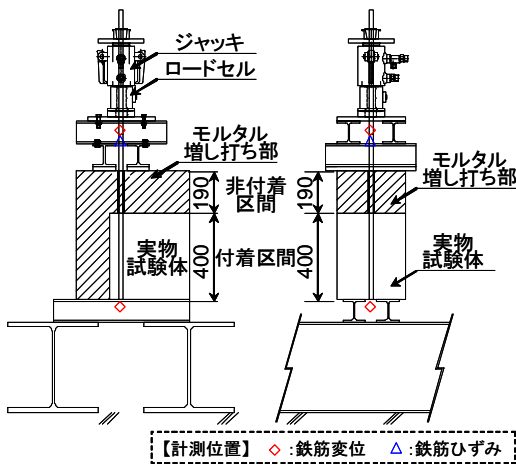


図-8 試験概要 (例: CASE1-1)

験が可能なように一部加工して、試験体を製作した。切り出した試験片の写真を写真-1 に示す。既設構造物の状況としては、有害なクラック、鉄筋錆等はなく、健全な状態であることを目視で確認した。試験概要を図-8 に示す。試験体は、鉄筋の定着長に相当する部分の長さを確保した上で、その上部の既設コンクリートをはつて鉄筋を露出させ、土木学会規準（案）を参考に非付着区間を  $10\phi$  設けてモルタルを打ち増した。

表-7 に試験ケースを示す。使用した鉄筋は  $\phi 19$  で、パラメータは定着長とし、 $20\phi$ 、 $40\phi$  程度とした。CASE1, CASE2-1 で使用した鉄筋は、スラブ下筋、

表-7 実物試験体引抜き試験ケース一覧

CASE	定着長		かぶり <sup>(注)</sup> (mm)	備考	
	(mm)	—			
1	1	400	21.1 $\phi$	35	下筋
	2	360	18.9 $\phi$	20	下筋
	3	390	20.5 $\phi$	23	下筋
2-1	1	780	41.1 $\phi$	23	下筋
	2	790	41.6 $\phi$	20	下筋
2-2	1	780	41.1 $\phi$	108	上筋
	2	790	41.6 $\phi$	115	上筋
	3	790	41.6 $\phi$	100	上筋

(注)モルタル打ち増し部を含めない、実物試験体のかぶり値。

表-8 鉄筋引張試験結果

試験体 NO.	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
1	406	2032	199627	517
2	339	1690	201810	446
3	333	1672	200199	452
平均	359	1798	200545	472

表-9 コンクリート圧縮強度試験結果

試験体 NO.	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
1 (上側)	33.5	30674
1 (下側)	26.5	20959
2	44.7	32694
3	28.5	24970
平均	33.3	27324

表-10 実物試験体引抜き荷重結果一覧

CASE	すべり量 $0.002\phi$ 時荷重 <sup>(注1)</sup> (kN)	実降伏荷重 $P_y$ (kN)	最大荷重 $P_{max}$ (kN)	
1	1	46.4	— <sup>(注2)</sup>	68.6 <sup>(注2)</sup>
	2	92.4	91.4	94.8
	3	63.9	— <sup>(注2)</sup>	73.0 <sup>(注2)</sup>
	平均	67.6	91.4	94.8
2-1	1	93.0	79.1	97.1
	2	99.4	88.4	105.1
	平均	96.2	83.8	101.1
2-2	1	105.5	68.9	105.5
	2	107.9	92.4	132.0
	3	112.7	87.5	116.4
	平均	108.7	82.9	118.0

(注1) JSCE-G 503-2007 の付着強度試験方法に準じて、すべり量が  $0.002\phi$  に達した時の荷重を記載した。

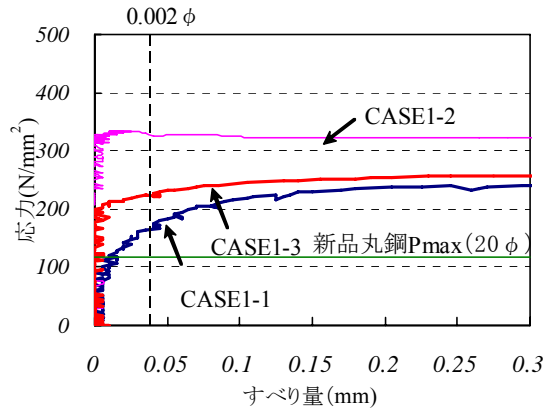
(注2) 降伏ひずみに達していないため、平均値算出から除外。

CASE2-2 で使用した鉄筋はスラブ上筋とした。

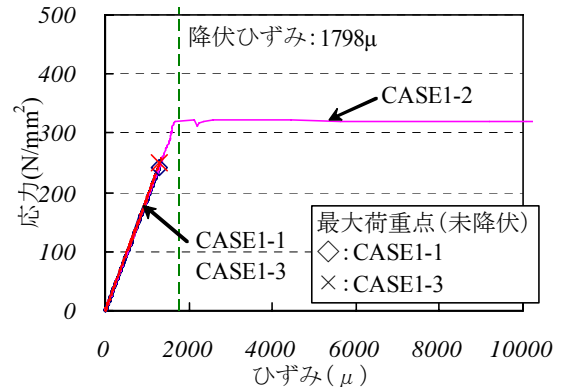
載荷は、前述の付着応力度確認試験、引抜き試験と同様の載荷方法でおこなった。計測項目は、鉛直荷重、鉄筋変位、鉄筋ひずみとした。

## 5.2 使用材料の物性

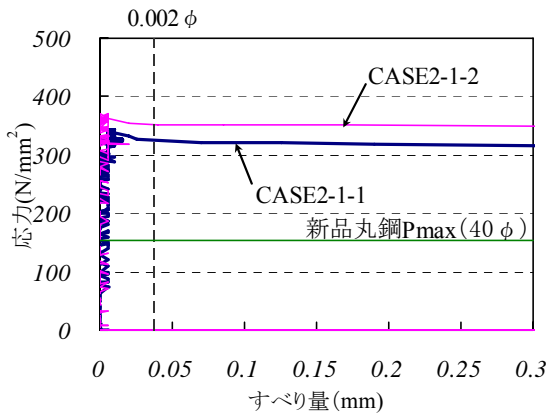
使用材料の物性を把握するため、試験片を切り出す既設高架橋のスラブより、鉄筋およびコンクリート試験体を採用した。鉄筋は径が  $\phi 19$  であり、ひずみゲージを貼り付けて引張試験を行なった。表-8 に試験結果を示す。ここで、表-2 に示す新品の丸鋼の引張試験結果と比較すると、ばらつきはあるものの降伏強度および引張強度の結果は下回っておらず、同程度であることから、既設



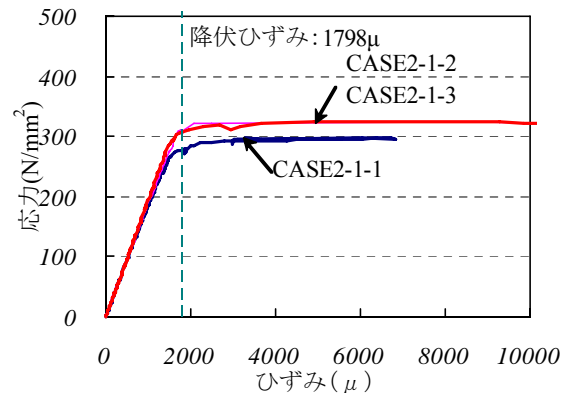
(a) CASE1 : 定着長 20φ の場合



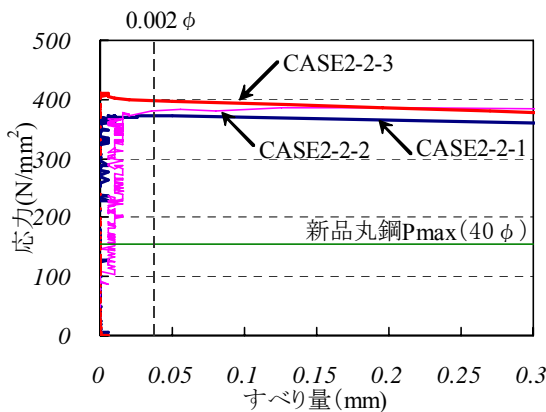
(a) CASE1 : 定着長 20φ の場合



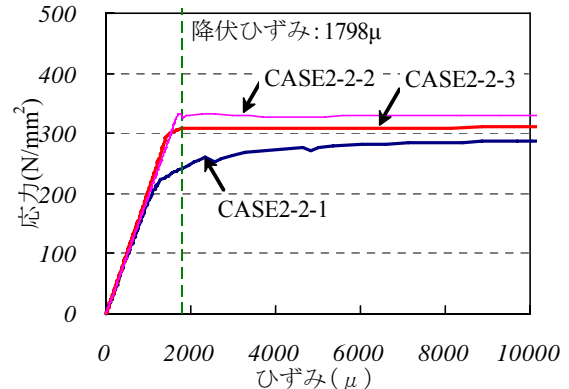
(b) CASE2-1 : 定着長 40φ の場合 (スラブ下筋)



(b) CASE2-1 : 定着長 40φ の場合 (スラブ下筋)



(c) CASE2-2 : 定着長 40φ の場合 (スラブ上筋)



(c) CASE2-2 : 定着長 40φ の場合 (スラブ上筋)

図-9 鉄筋応力と鉄筋すべり量の関係

図-10 鉄筋応力と鉄筋ひずみの関係

の構造物に用いられている丸鋼の規格はSR235相当と推察される。

コンクリートについては、コアを3箇所から採取し、圧縮強度試験を行なった。表-9に試験結果を示す。NO.1試験体については、同一箇所におけるスラブ上側と下側のデータである。

### 5.3 試験結果

表-10に引抜き荷重結果一覧、図-9に鉄筋応力と鉄筋すべり量の関係、図-10に鉄筋応力と鉄筋ひずみの関係を示す。

ここで、鉄筋のすべり量は、試験体下面で計測した値とした。また、鉄筋抜け出しの判定は、土木学会規準(案)に準じて、鉄筋のすべり量が0.002φに達した時点で鉄筋が抜け出したと判断することとした。

図-9より、定着長が20φの場合(CASE1)は、CASE1-2についてのみ、鉄筋が降伏後にすべり量が0.002φとなった。ここで、鉄筋の降伏とは、事前に実施した材料試験結果による降伏ひずみに達した時点とした。残りのケース(CASE1-1, CASE1-3)では、鉄筋の規格降伏強度(235 N/mm<sup>2</sup>)に達する前に鉄筋のすべり量が0.002φ以

上となった。CASE1-2 の実降伏荷重 91.4kN を基準とすると、CASE1-1、CASE1-3 の最大荷重は 50～70%程度であった。

一方、定着長が 40φ の場合 (CASE2-1、CASE2-2) は、実降伏荷重が 70～90 kN 程度とばらつきはあるものの、平均で 83kN 程度であった。全ての試験体で、降伏応力に達した後に、鉄筋のすべり量が 0.002φ 以上となった。また、最大荷重は、各試験体において、実降伏荷重の 1.2～1.5 倍であり、平均で約 110kN であった。

また、前述の 3. 引抜き試験で実施した新品丸鋼を用いた引抜き試験では、定着長 20φ、40φ とともに降伏荷重前に鉄筋が抜け出し、最大荷重はそれぞれ 33.0 kN、43.6 kN であった。既設構造物から採取した鉄筋の最大引抜き荷重は、新品の丸鋼を用いた場合の 2 倍以上であり、差異がある理由として、鉄筋の表面粗さ等が引抜き力に影響していると推測される。

## 6. 実物持続載荷試験

### 6.1 試験概要

持続載荷時における鉄筋の引抜き荷重とすべり量の関係を確認することとした。試験体製作方法は、前述の実物引抜き試験体と同様とし、定着長は 40φ 程度とした。表-11 に試験ケースを示す。

載荷荷重は、実物引抜き試験の結果を踏まえて、降伏荷重程度の 80kN とした。載荷時間は、約 120 時間とした。

### 6.2 試験結果

図-11 に鉄筋すべり量と載荷時間の関係を示す。気温の日変化の影響による微小な変位は見られるものの、顕著な鉄筋の抜け出しはなかった。今回、試験体を採取した既設構造物に限って述べれば、鉄筋の表面状態等により、定着長を 40φ 程度確保すれば、短期間ではあるが持続荷重に対しても、鉄筋の降伏荷重程度までは抜け出しは生じない結果となった。

## 7. 実構造物の定着長を想定した実物引抜き試験の考察

今回用いた既設構造物の鉄筋については、定着長を 40φ 確保していれば、単調載荷時および持続載荷時ともに、鉄筋の降伏荷重程度までは鉄筋の抜け出しは発生しなかった。そこで、実施工時においては、一時的にフックがなくても定着長が 40φ あれば抜け出しはないと判断し、施工を行なった。

ただし、鉄筋の種類や表面状態、コンクリートの品質などにより、必要定着長は異なると考えられるので、その都度慎重に検討することが必要である。

表-11 実物持続載荷試験ケース一覧

CASE	定着長		かぶり (mm)	備考	
	(mm)	—			
3	1	760	40.0φ	25	下筋
	2	775	40.8φ	27	下筋
	3	780	41.1φ	30	下筋

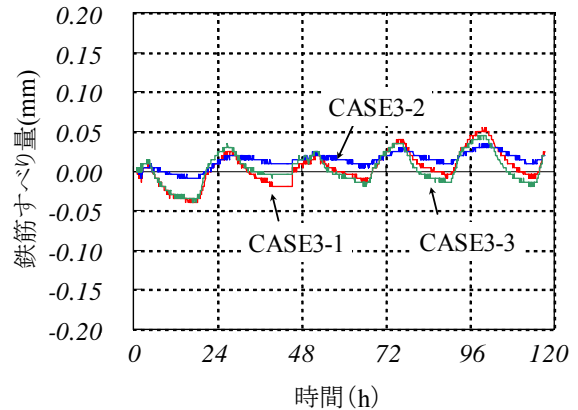


図-11 鉄筋すべり量と載荷時間の関係

## 8. まとめ

本報告では、既設構造物における丸鋼の定着長を確認することを目的に、新品の丸鋼を用いた基礎試験および供用中の高架橋から切り出して製作した試験体による鉄筋引抜き試験を実施した。本試験の結果をまとめると、以下の通りである。

- (1) 新品の丸鋼を用いた引抜き試験より、引抜き最大荷重と定着長の関係は、定着長が大きくなるほど最大荷重は大きくなった。ただし、荷重の増加割合は、定着長が長くなるほど小さくなる傾向がみられた。
- (2) 新品の丸鋼を用いた引抜き試験より、定着長が 20φ、30φ、40φ では、鉄筋降伏に至る前に鉄筋が抜け出す結果となった。
- (3) 今回用いた既設構造物の鉄筋については、定着長が 20φ、40φ の試験体ともに、新品の鉄筋を用いた場合と比較して 2 倍以上引抜き荷重が大きくなった。鉄筋の表面状態等が鉄筋の引抜き力に影響していると考えられる。
- (4) 今回用いた既設構造物の鉄筋については、定着長 40φ 確保していれば鉄筋降伏まで抜け出しはないことがわかった。ただし、新品の丸鋼を用いた引抜き試験では、定着長 40φ の場合は、鉄筋降伏に至る前に抜け出しが発生していることから、既設構造物の丸鋼の定着長の評価は、その都度慎重に検討を行なう必要がある。

### 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物、丸善、2004.4