

# 泥水工法における鉄筋とコンクリートの付着力の低下防止法に関する研究 (第2報)

喜 田 大 三  
守 屋 正 裕

## Study on Prevention of Deterioration of Bond Strength between Concrete and Reinforcing Bars in Underground Excavation with Slurry (Part 2)

Daizo Kita  
Masahiro Moriya

### Abstract

Experiments relating to factors influencing deterioration of bond strength between concrete and reinforcing bars and methods of preventing deterioration in underground excavation with slurry were carried out and the results obtained were as follows:

- 1) The longer that bars are inserted in a trench filled with slurry, the lower will be the bond strength between concrete and reinforcing bars.
- 2) The deterioration of bond strength is prevented by adding a certain bond deterioration preventive material at a rate between 0.03 to 0.05% to the slurry.

### 概 要

泥水工法によって構築された鉄筋コンクリートにおける鉄筋とコンクリートとの付着力の低下防止法を確立する目的で、付着力の低下に影響する因子および新しく開発したボンド低下防止剤の効果などについて室内実験によって検討した。その結果次のことが明らかとなった。

- 1) 泥水中への鉄筋の浸漬時間と粘土吸着量との関係および粘土吸着量と付着強度との関係から、鉄筋浸漬時間が長くなるにつれて付着強度は低下することが判明し、現場的な泥水の場合、鉄筋の許容浸漬時間は4～5時間であると推定された。
- 2) 泥水中にボンド低下防止剤を0.03～0.05%添加することによって、泥水の一般的性質を変えることなく、また鉄筋浸漬時間に関係なく付着強度の低下を著しく抑制できることが明らかとなった。

### 1. まえがき

ベントナイト粘土の泥水を用いて地盤を掘削し、鉄筋コンクリートの地中連続壁や杭を構築する泥水工法は、市街地での土木建築工事に広く採用され、多くの実績をあげている。

ところで、このような泥水工法によって構築された鉄筋コンクリートでは、その施工条件によって、普通の鉄筋コンクリートに比べて鉄筋とコンクリートとの付着力が低下するという現象が現場実験や室内実験で認められている。2, 3の資料<sup>1), 2), 3)</sup>によるとその低下率は10～60%である。

筆者らは、数年前からこの付着力の低下原因とその防止法に関する研究を行ない、前報<sup>4)</sup>では、付着力の低下原因とそれに寄与する因子の検討および電気的な方法による付着力の低下防止法について報告した。その後、付着力の低下に寄与する因子についてさらに検討を行なった。一方、このような付着力低下に関する一連の研究過程で、前報の電気的な付着力低下防止法に比べて、きわめて容易でかつ経済的に付着力の低下を抑制する方法として「ボンド低下防止剤」を開発するに至った。

この報告では、付着力低下に寄与する因子の検討結果と、ボンド低下防止剤の室内実験結果を発表する。

なお、文中において、鉄筋への粘土の吸着を粘土の吸着あるいは単に吸着とし、鉄筋とコンクリートとの付着力を鉄筋の付着力あるいは単に付着力とし、付着強度も付着力と同じ意味で用いている。

## 2. 粘土吸着量および鉄筋付着力に影響する因子の検討

### 2.1. 粘土吸着量と付着強度

前報で報告したように、泥水工法によって施工された鉄筋コンクリートにおける鉄筋とコンクリートとの付着力低下の主要原因は、泥水中に鉄筋を浸漬した際に、鉄筋と泥水との界面における電気化学的な現象によって、泥水中の粘土粒子が鉄筋に吸着し、あとから打設したコンクリートと鉄筋とが一部絶縁されるためであることが明らかとなった。この付着力低下原因のうらづけとして、室内実験の結果から、泥水中に浸漬した鉄筋への粘土の吸着量と最大付着強度との間に次式で示すような逆比例の高度な相関性が認められた<sup>4)</sup>。

相関係数： $\gamma = -0.890$  (危険率1%で有意)

回帰直線： $y = 97.16 - 9.20x$

x：粘土吸着量 (g/100cm<sup>2</sup>)

y：相対最大付着強度 (%)

その後、同じ実験データをもとに、粘土の吸着量と鉄筋の自由端のすべり量0.25mm時の付着応力度 ( $\delta = 0.25\text{mm}$  付着強度) との関係について相関分析を行ない次の結果を得た。なお、付着強度はプレーンに対する比率 (相対付着強度%) で表示した。その散布図を図-1に示した。

相関係数： $\gamma = -0.850$  (危険率1%で有意)

回帰直線： $y = 90.51 - 9.92x$

x：粘土吸着量 (g/100cm<sup>2</sup>)

y： $\delta = 0.25\text{mm}$  相対付着強度 (%)

上記の結果から、泥水中に浸漬した鉄筋への粘土の吸着量が鉄筋とコンクリートとの付着力の低下に大きく寄与していることが確認できる。

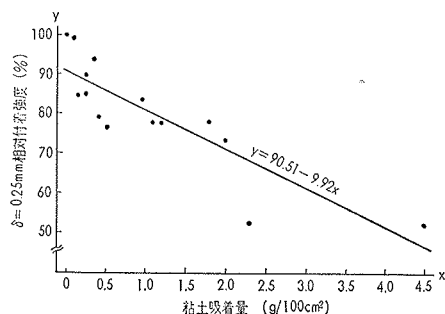


図-1 粘土吸着量と付着強度

### 2.2. 鉄筋の表面状態と粘土吸着量

前報で報告した鉄筋への粘土の吸着機構から推定されるように、粘土の吸着量は、鉄筋の表面状態の違い、すなわちサビや傷の程度によって大きく変化すると考えられる。そこで、鉄筋のサビ程度と粘土吸着量との関係について検討した。

2.2.1. 供試泥水 表-1に示した泥水のうち、No. 2 および No. 5 の泥水を用いた。

	泥水組成 (%)				
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
ベントナイト	4	8	8	4	4
CMC	—	—	0.05	0.025	0.025
分散剤	—	—	0.5	0.25	0.25
土(五反田シルト)	—	—	—	10	—
土(立川ローム)	—	—	—	—	10

表-1 供試泥水

2.2.2. 供試鉄筋 表面のサビ程度を異にする  $\phi 19$  mm,  $l 300$  mm の異形鉄筋を用いた。

2.2.3. 実験法 泥水中に鉄筋を20時間浸漬し、浸漬前後の鉄筋の重量差から粘土の吸着量を測定した。実験は3連で行なった。

2.2.4. 実験結果と検討 実験の結果得られたデータをもとに、二元配置法に基づく統計解析を行ない検討した。図-2に粘土吸着量測定結果の平均値と信頼率95%の区間推定の結果を示す。

統計解析の結果、鉄筋表面のサビ程度の違いによって粘土吸着量に高度な有意差が認められ、図-2から明らかなように、サビが多い鉄筋ほど粘土が吸着し易い傾向が認められた。この結果は、前報で究明したように、鉄筋表面の活性な部分すなわちミルスケール剝離部分に粘土が吸着するという吸着機構を再実証したものである。

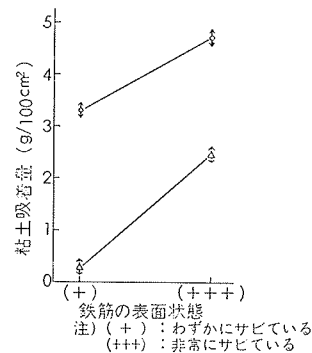


図-2 鉄筋の表面状態と粘土吸着量

### 2.3. 鉄筋浸漬時間と粘土吸着量

泥水工法では、地盤の掘削が終了したのち、泥水の

満たされた掘削孔内に鉄筋を挿入してからコンクリートを打設するまでに通常数時間を要し、現場の状況によっては十数時間鉄筋が泥水中に浸漬放置される場合もある。この間に泥水中の粘土が鉄筋に吸着する。そこで、泥水中への鉄筋の浸漬時間と粘土吸着量との関係について検討した。

2.3.1. 供試泥水 表一に示したNo. 1~5の5種類の組成の泥水を用いた。

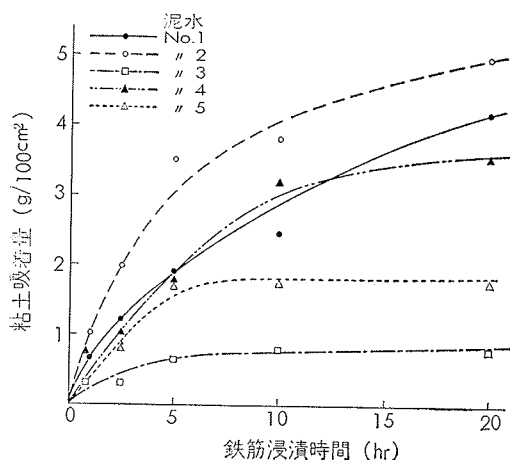
2.3.2. 供試鉄筋 表面が中程度にサビている  $\phi 19$  mm,  $l 300$  mmの異形鉄筋を用いた。

2.3.3. 実験法 泥水中に鉄筋を 1, 2.5, 5, 10, 20 時間浸漬し、浸漬前後の鉄筋の重量差から粘土吸着量を測定した。実験は3連で行なった。

2.3.4. 実験結果と検討 3連で測定した粘土吸着量の平均値を図一に示し以下に検討した。

粘土吸着量は泥水の種類によって異なり、ベントナイト濃度8%のNo. 1の泥水が最も吸着量が多く、次いでNo. 2, No. 4の泥水、さらにNo. 5の泥水そしてNo. 3の泥水の順である。No. 3の泥水は、ベントナイト濃度が8%であるにもかかわらず、粘土吸着量は20時間浸漬でNo. 1の泥水の約16%で最も吸着量が少ない。これは、前報で述べた分散剤の効果によると考えられる。また、No. 4とNo. 5の泥水を比較すると、その組成は混入している土の種類が違っただけであるが、長時間浸漬した場合の粘土の吸着量はかなり異なっている。この原因については今後さらに検討する予定である。

さて、鉄筋の浸漬時間と粘土吸着量との間に一般的に次のような傾向が認められた。鉄筋を泥水中に浸漬したのち、5~10時間までは時間とともに吸着量は急激に増加し、その後次第に平衡状態になっている。



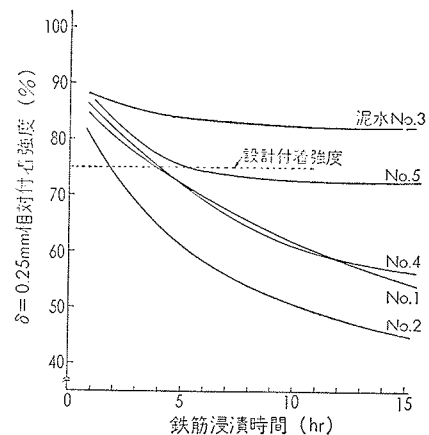
図一 鉄筋浸漬時間と粘土吸着量

## 2.4. 鉄筋浸漬時間と付着強度

前記の粘土吸着量と付着強度との関係および鉄筋浸漬時間と粘土吸着量との関係から、鉄筋を泥水中に浸漬放置する時間が長いほどその後打設したコンクリートとの付着強度は低下することが推定される。そこで、参考までに、図一1および図一3の結果から、鉄筋浸漬時間と  $\delta=0.25$  mm 相対付着強度との関係を導き図一4に示した。なお、これらの値はかなりのバラツキをもっていることに留意する必要がある。また、泥水工法によって構築する鉄筋コンクリートでは、その付着強度が普通の鉄筋コンクリートに比べて25%低下することを見込んで設計を行なっている。そこで、付着強度の許容低下率を25%として図一4に併記した。同図から次のことが明らかである。

鉄筋浸漬時間が長くなるにしたがって付着強度は低下し、その低下率はNo. 3の泥水ではわずかであるが、No. 1, 2, 4の泥水では顕著である。この実験結果から、No. 3の泥水以外では、No. 2の泥水で2時間以上、No. 1, 4, 5の泥水で4~5時間以上浸漬したのちにコンクリートを打設すると付着強度は設計強度を下まわることが予想される。

ところで、No. 1, 4, 5の泥水の組成は、実際の現場泥水のそれと類似しているため、現場において設計強度を維持するための許容浸漬時間は4~5時間であると推定される。なお、これらの関係は前記の結果から明らかのように鉄筋の表面状態によっても大きく変化すると考えられる。



図一4 鉄筋浸漬時間と付着強度

## 3. ボンド低下防止剤に関する検討

### 3.1. 作用機構

前報<sup>1)</sup>で解明したように、鉄筋を泥水中に浸漬すると、鉄筋表面において局部電池が構成され、そのアノード部から鉄イオン (Fe<sup>2+</sup>) が溶出する。この鉄イオンを介して泥水中の負荷電を持った粘土粒子が鉄筋表

面のアノード部に凝集吸着する。そこで、このアノード反応を電気的な方法によって抑制することもできるが、ある種の薬品を添加することによってこのアノード反応を抑制する方法を検討し、ここにボンド低下防止剤 (以下防止剤と略す) を開発することができた (特許出願中)。

まず、この防止剤による上記アノード反応の抑制効果を確認する実験を行なった。実験では、ベントナイト濃度8%の泥水に防止剤を0.01~0.1% 添加し、その中に浸漬した鉄筋の分極特性をポテンショスタットで測定するとともに鉄筋の自然電位を測定した。自然電位は、鉄筋を泥水中に浸漬してから約20時間経過後に、飽和カロメル電極(S, C, E)を基準に測定した。測定結果を図-5, 6に示した。

図-5から明らかなように、防止剤を添加することによって、泥水中に浸漬した鉄筋のアノード反応は著しく抑制されている。また、図-6の自然電位の測定結果では、防止剤を添加することによって、鉄筋の電位が約250mV 貴な方向に移動している。すなわち、鉄筋からの鉄イオンの溶出が起り難い状態になっていることを示している。

以上の実験結果から、防止剤は、鉄筋からの鉄イオンの溶出を抑制することが明らかである。したがって、防止剤を添加することによって鉄筋への粘土の吸着が抑制され、付着力の低下防止に寄与すると予想し、以下の実験を行なった。

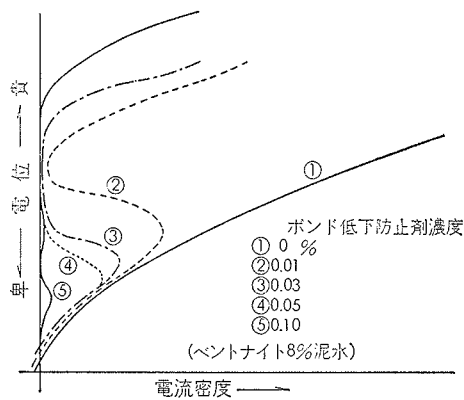


図-5 泥水中における鉄筋の分極特性

### 3.2. 粘土吸着防止効果

防止剤添加による鉄筋への粘土吸着防止効果について検討した。

3.2.1. 供試泥水 表-1に示した泥水のうち、No. 1, 2, 4, 5の泥水について、防止剤をそれぞれ、0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.1% 添加し、供試泥水とした。

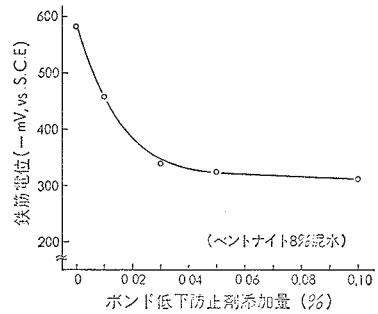


図-6 泥水中における鉄筋の電位

3.2.2. 供試鉄筋 表面が中程度サビているφ19mm, L300mmの異形鉄筋を用いた。

3.2.3. 実験法 泥水中に鉄筋を24時間浸漬し、浸漬前後の鉄筋の重量差から粘土吸着量を測定した。実験は3連で行なった。

3.2.4. 実験結果と検討 3連で測定した粘土吸着量の平均値を図-7に示した。この結果から次のことが明らかである。

供試した4種類の泥水のいずれの場合にも防止剤を添加することによって、その中に長時間浸漬した鉄筋においても粘土の吸着は著しく抑制され、吸着量は防止剤無添加の場合の10%以下となっている。また、防止剤の最適添加濃度は0.03~0.05%であると判定できる。

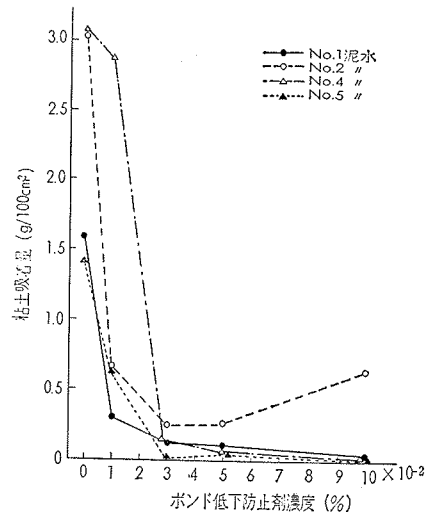


図-7 低下防止剤添加量と粘土吸着量

### 3.3. 泥水の一時的性質への影響

防止剤を泥水に添加した場合、泥水の粘性、造壁性、耐凝集能など泥水の一時的性質にどのような影響をおよぼすか検討した。

3.3.1. 供試泥水 表-1に示した No. 1 および No. 2の泥水に、それぞれ防止剤を0, 0.01, 0.03, 0.

05, 0.1%添加し供試泥水とした。

**3.3.2. 実験法** 上記泥水について、ファンネル粘度計 (500/500ml) による粘度および API 規格加圧汙過試験機で、3kg, 30 分の脱水量を測定した。また、セメントに対する耐凝集能を調べるために、それぞれの供試泥水にポルトランドセメントを0.05~0.2%の範囲で添加し、同様に粘度および脱水量を測定した。

**3.3.4. 実験結果と検討** 実験結果を示さないが、防止剤を0.01~0.05%添加した泥水の粘性、造壁性、耐凝集能などの一般的性質は、防止剤無添加の泥水と比較してほとんど変化のないことが判明した。しかし、防止剤を0.1%以上多量に添加した場合には、泥水は凝集状態を呈し、防止剤無添加の泥水と比較してその一般的性質は劣化することが認められた。

以上の結果から、防止剤の最適添加濃度である0.03~0.05%を泥水に添加しても泥水の一般的性質は劣化しないことが判明した。

**3.4. 付着強度改善効果**

これまでの実験で、ベントナイト泥水中に防止剤を0.03~0.05%添加することによって、泥水の一般的性質を劣化させることなく、泥水中に浸漬した鉄筋への粘土の吸着を著しく抑制できることが明らかとなった。そこで、次に、防止剤添加による鉄筋とコンクリートとの付着強度の改善効果について検討した。

**3.4.1. 供試泥水** 表-1に示した泥水のうち、No. 1, 2, 5の3種類の泥水で、防止剤無添加の泥水と0.05%添加の泥水とを作成し供試泥水とした。

**3.4.2. 供試鉄筋** φ22mm, l1100mmの異形鉄筋で、コンクリートとの付着長さは150mmとした。なお、表面のサビ程度は表-2に併記した。

**3.4.3. 実験法** 供試泥水中に鉄筋を24時間浸漬後、モールド (15×15×15cm)に移し、ただちにコンクリートを打設し、温度20°C, 湿度90%の条件で養生した。表-2に示した養生日数経過後に ASTM 法に準じアムスラー試験機で引き抜き試験を行なった。なおその際、比較のために泥水に浸漬しない鉄筋についても同様に供試体を作成し、引き抜き試験を行なった。実験は表-2に示す組合せで4回に分けて3連で行なった。

**3.4.4. 実験結果と検討** 表-3に実験結果を示す。その際、泥水に浸漬してない鉄筋の付着強度を基準にした付着強度の低下率も算出し併記している。

表-3から明らかなように、防止剤無添加の従来の泥水に24時間浸漬した鉄筋の最大付着強度は、無浸漬の鉄筋に比べて10.6~31.9%低下している。他方、泥

実験No.	泥水	鉄筋の表面状態	養生日数
I	No.1	わずかにサビている	9日
II	No.2	ほとんどサビていない	12日
III	No.2	わずかにサビている	60日
IV	No.5	わずかにサビている	7日

表-2 付着力試験実験条件

水に24時間という長時間浸漬した鉄筋においても防止剤を添加した場合には、最大付着強度の低下率は0~2.8%と非常に小さい。また、この実験データに基づいて統計解析を行なったところ、泥水無浸漬の鉄筋と防止剤無添加泥水に浸漬した鉄筋とでは付着強度に高度な有意差が認められたが、泥水無浸漬の鉄筋と防止剤添加泥水に浸漬した鉄筋とでは付着強度に有意差は認められなかった。

以上の結果から、泥水中に防止剤を添加することによって、鉄筋とコンクリートとの付着強度の低下を著しく抑制できることが判明した。

実験No.	供試体(注)	最大付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )				付着強度低下率(%)
		1	2	3	平均	
I	A	94.9	124.1	103.5	107.5	—
	B	71.5	77.3	70.7	73.2	31.9
	C	109.1	109.2	103.8	107.4	0
II	A	126.5	127.2	125.7	126.5	—
	B	113.1	114.4	112.0	113.1	10.6
	C	126.3	123.7	127.3	125.8	0.6
III	A	128.0	124.6	125.9	126.2	—
	B	99.6	95.7	97.7	97.7	22.4
	C	120.3	117.5	130.3	122.7	2.8
IV	A	87.9	84.6	—	86.3	—
	B	74.3	71.4	—	72.9	15.5
	C	90.8	92.4	—	91.6	0

(注) A: 泥水無浸漬の鉄筋  
 B: ボンド低下防止剤無添加の泥水に24時間浸漬した鉄筋  
 C: ボンド低下防止剤を添加した泥水に24時間浸漬した鉄筋

表-3 付着強度測定結果

**3.5. 使用法**

防止剤の使用法は、従来の泥水を作成する際に、泥水中にそれを0.05% (泥水 1m<sup>3</sup> 当たり約70円) 添加するだけで、その他は従来の施工法となんら変わることなく、掘削、鉄筋挿入、コンクリート打設の順で施工すればよい。また、この泥水は従来の泥水と同様に繰返して使用することができる。なお、実際の現場で使用する泥水は、使用過程において、雨水、地下水、洗い水などによって希釈されるが、その希釈率は最大1.3~1.7倍程度と推定され、調泥時に0.05%添加して

おくことによって最適添加濃度（0.03～0.05%）は維持できる。また、防止剤の添加された泥水を廃液処理する際にもなんら問題は生じない。

#### 4. まとめ

泥水工法によって構築された鉄筋コンクリートにおける鉄筋とコンクリートの付着力の低下に寄与する因子について検討するとともに、ポンド低下防止剤について室内実験で検討し、以下のことが判明した。

(1) 泥水中に鉄筋を浸漬した際に鉄筋表面に吸着する粘土の吸着量と鉄筋の付着強度との間に逆比例の高度な相関性が認められ、鉄筋への粘土の吸着が鉄筋の付着強度の低下に大きく寄与していることが確認された。

(2) 鉄筋への粘土の吸着に寄与する因子の一つとして、鉄筋の表面状態（サビ程度）について検討した結果、サビの多い鉄筋ほど粘土は吸着し易いことが判明した。これは、前報で解明した粘土の吸着機構をうらづけている。

(3) 泥水中への鉄筋浸漬時間と粘土吸着量との関係について検討した結果、泥水の組成によって吸着量は異なるが、浸漬後5～10時間は時間とともに吸着量が増大し、その後次第に平衡状態となる。

(4) 粘土吸着量と付着強度との関係および鉄筋浸漬時間と粘土吸着量との関係から、鉄筋浸漬時間と付着強度との関係について検討した結果、浸漬時間が長くなるにしたがって付着強度は低下する傾向であり、現場泥水に比較的近似した泥水の場合、付着強度( $\sigma=0.25\text{mm}$ )の許容低下率を25%とすると、許容浸漬時間は4～5時間である。

(5) 鉄筋への粘土吸着の基礎的研究から、ポンド低下防止剤を開発した。その最適添加濃度は0.03～0.05%であり、それを添加することによって鉄筋への粘土吸着量は無添加の場合の10%以下となる。また、ポンド低下防止剤を上記濃度範囲内で添加しても泥水の粘性、造壁性、耐凝集能などの一般的な性質は影響を受けない。

(6) 従来の泥水に24時間の長時間浸漬した鉄筋の最大付着強度は、無浸漬の鉄筋に比べて10.6～31.9%低下したが、あらかじめ泥水にポンド低下防止剤を添加しておくことによって付着強度の低下は2.8%以下となった。

(7) ポンド低下防止剤の使用法は、従来の泥水を作成する際に、それを0.05%（泥水1 $\text{m}^3$  当たり約70円）添加するだけで、その他は従来の施工法となんら変わらない。また、ポンド低下防止剤を使用することによる二次的な障害発生の恐れはない。

#### 参考文献

- 1) 山本康弘：ベントナイト液中のコンクリートの付着強度に関する研究（その1，モデル実験）建築学会論文集（1968）
- 2) 山本康弘：ベントナイト液中のコンクリートの鉄筋との付着強度の改善に関する研究（1969）
- 3) 山本康弘：ベントナイト液中のコンクリートと鉄筋の付着強度に関する研究，建築学会論文集（1968）
- 4) 喜田・守屋：泥水工法における鉄筋とコンクリートの付着力の低下防止法に関する研究（第1報）大林組技術研究所報 No. 7（1973）