

## 自硬性安定液に関する研究 (その3)

——硬化体の曲げ強度, せん断強度, 付着強度について——

喜田大三 齋藤裕司  
川地武

### Studies on Self-Hardening Slurry (Part 3)

——Bending Strength, Shear Strength and Bond Strength of Hardened Slurry——

Daizo Kita Hiroshi Saito  
Takeshi Kawachi

#### Abstract

This study was made with the objective of gaining an understanding of the fundamental nature of hardened slurry in order to broaden its scope of utilization. Considering contamination of soil during excavation, many kinds of slurry were made and their compressive, bending, shear and bond strengths were investigated. The results were as follows:

(1) Bending strengths were relative to compressive strengths, being higher the higher the compressive strength. The relation between the two strengths was dependent upon contamination of soil. Bending strengths were 1/5 to 1/6 of compressive strengths in case of no soil contamination but about 3/10 of compressive strengths in case of contamination.

(2) Shear strengths were relative to compressive strengths independent of soil contamination and were 1/5 to 2/5 of compressive strengths, being higher with higher compressive strength.

(3) Bond strengths were also relative to compressive strengths regardless of soil contamination, and were 1/5 to 1/4 of the latter, being higher as the latter became higher.

#### 概 要

自硬性安定液を広範囲に利用するために、硬化体の基本性状の把握を目的とし、各種配合の硬化体の圧縮強度、曲げ強度、せん断強度および異形鉄筋との付着強度を測定し、以下のことが判明した。

(1) 曲げ強度は圧縮強度の増大に伴って増大する。しかし、両者の関係は混入土の有無によって異なり、土が混入しない場合の曲げ強度は圧縮強度の1/5~1/6と小さいが、土が混入すると約3/10となる。

(2) せん断強度は配合、混入土の有無とは無関係に、圧縮強度の増大に伴って増大し、圧縮強度の1/5~2/5を示す。

(3) 異形鉄筋との付着強度は配合、混入土の有無とは無関係に、圧縮強度の増大に伴って増大し、圧縮強度の1/5~1/4を示す。

#### 1. まえがき

自硬性安定液はベントナイト泥水にセメント系の硬化剤を混練したものであり、硬化前はベントナイト泥水と同様に掘削孔壁の安定機能を示し、静置するとそのまま硬化する性質を有している。

この硬化体は硬化剤の種類や配合量を変えることによって、2~40 kg/cm<sup>2</sup>の圧縮強度を発現するばかりでなく、すぐれた遮水性能を示すので、硬化体そのものによ

る止水壁、山留壁、その他広範囲の利用が可能である。そのためには作成直後からの流動性状、および硬化体の諸性状を十分に把握する必要がある。そこで広範囲の使用を想定し、掘削性の土の混入をも考慮した各種配合の自硬性安定液の硬化前後の基本性状を解明する研究を行っている。

既に、硬化前後の諸性状<sup>1)</sup>、特に圧縮強度と弾性定数、ならびに透水係数との関係は報告したので、ここでは圧縮強度と曲げ強度、せん断強度、ならびに付着強度との

関係を報告する。

## 2. 供試試料

### 2.1. 自硬性安定液

#### 2.1.1. 材料

ベントナイト：群馬県産 250 メッシュ

硬化剤：特殊セラメント

混入土：シルト（東京地区の沖積層）

標準砂（豊浦産）

2.1.2. 配合 供試体の配合を表一に示す。表示したように、基本配合はベントナイト量が 50, 75 kg/m<sup>3</sup> の 2 種類で硬化剤量が 200, 240, 280 kg/m<sup>3</sup> の 3 種類を組合せたものである。また、一部の基本配合にシルトまたは標準砂を10および20%（安定液に対する重量比）の割合で混入した。

### 2.2. 鉄筋

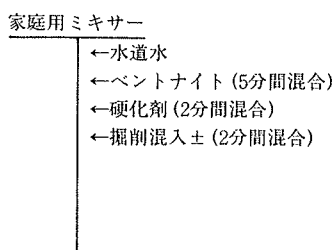
異形丸鋼：D10

## 3. 実験法

### 3.1. 供試体の作成

家庭用ミキサーを使用して、図一に示す手順に従って、所定配合の自硬性安定液を作成した。この安定液をアクリル製の特製モールドにつめ、そのまま20℃の標準水中養生を行なった。

なお、圧縮強度の測定にはφ5×10 cmの円柱状供試体、曲げおよびせん断強度の測定には4×4×16 cmの直方体状の供試体、そして、付着強度の測定にはφ8×10 cmの円柱の中心にD10の鉄筋を埋め込んだ供試体をそれぞれ使用した。



図一 自硬性安定液の作成手順

### 3.2. 測定法

#### (1) 圧縮強度

圧縮強度は万能試験機を使用して、コンクリートの圧縮強度測定法に準じて測定した。

#### (2) 曲げ強度

曲げ強度はミハエリス二重テコ形試験機を使用してモルタルの曲げ強度試験法に準じて測定した。

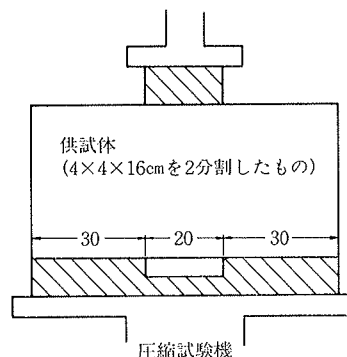
#### (3) せん断強度

せん断強度は万能試験機を使用して、図二に示すように、載荷幅が 20 mm の二面せん断試験を行なった。

載荷速度は圧縮試験と同様にした。

#### (4) 付着強度

付着強度は反能試験機を使用して、鉄筋の引き抜き試験を行なった。引き抜き速度は 1 mm/min とした。



図二 せん断試験装置

## 4. 実験結果と検討

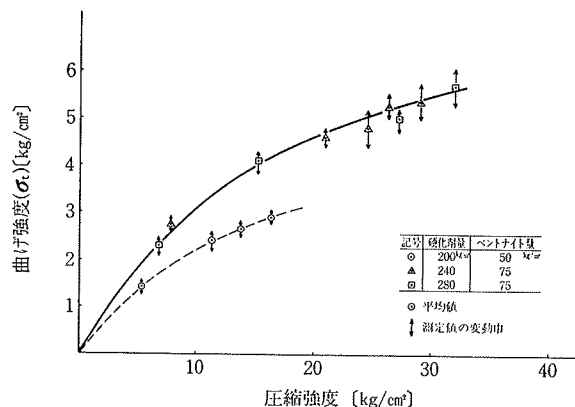
表一に、4, 8 および 12 週材齢時に測定した圧縮強度、曲げ強度、せん断強度ならびに付着強度の結果を示す。表示した結果はいずれも、3 種類の供試体について実施した測定値の平均値である。

### 4.1. 曲げ強度 ( $\sigma_t$ )

#### (i) 土が混入しない場合

表示したように、曲げ強度( $\sigma_t$ )は材齢とともに増大し、同一材齢時では硬化剤量の多い配合のものほど大きい。すなわち、これは  $\sigma_t$  が F と関連することを示唆している。そこで図一に、 $\sigma_t$  と F の関係を示す。なお図中には F と  $\sigma_t$  の関係をより一層明確にするため、2 週材齢時の結果も併記した。

図示したように、 $\sigma_t$  は F 増大に伴って増大し、 $\sigma_t$  は F の 1/5~1/6 を示している。ここで注目すべきことは  $\sigma_t$  と F の関係曲線がベントナイト量によって異なり、それが多い配合のものほど同一の F でも  $\sigma_t$  が大きい。この



図三 圧縮強度と曲げ強度の関係 (土が混入しない場合)

| No. | 配合 (kg/m <sup>3</sup> ) |        |     |     | 圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |      |      | 曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |      |      | せん断強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |      |      | 付着強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |      |      |
|-----|-------------------------|--------|-----|-----|----------------------------|------|------|----------------------------|------|------|-----------------------------|------|------|----------------------------|------|------|
|     | 硬化剤                     | ベントナイト | 標準砂 | シルト | 4 週                        | 8 週  | 12 週 | 4 週                        | 8 週  | 12 週 | 4 週                         | 8 週  | 12 週 | 4 週                        | 8 週  | 12 週 |
| 1   | 200                     | 50     | /   | /   | 11.3                       | 13.8 | 16.3 | 2.40                       | 2.65 | 2.90 | 4.61                        | 4.75 | 6.01 | 1.88                       | 2.85 | 3.89 |
| 2   | 240                     | 75     | /   | /   | 21.0                       | 24.6 | 26.3 | 4.61                       | 4.81 | 5.25 | 6.01                        | 7.19 | 9.95 | 4.91                       | 5.32 | 6.72 |
| 3   | 280                     | 75     | /   | /   | 27.3                       | 29.1 | 32.1 | 5.02                       | 5.35 | 5.70 | 7.47                        | 8.69 | 10.3 | 6.05                       | 7.31 | 8.10 |
| 4   | 240                     | 75     | 260 | —   | 21.4                       | 25.4 | 26.9 | 6.21                       | 7.45 | 7.70 | 7.34                        | 8.81 | 11.4 | 5.42                       | 6.76 | 7.59 |
| 5   | 240                     | 75     | —   | 130 | 24.1                       | 26.0 | 30.2 | 7.01                       | 7.88 | 8.80 | 6.45                        | 6.46 | 8.66 | 5.13                       | 6.26 | 6.76 |
| 6   | 280                     | 75     | 136 | —   | 25.3                       | 28.5 | 33.8 | 7.83                       | 8.20 | 10.3 | /                           | /    | /    | /                          | /    | /    |
| 7   | 280                     | 75     | 270 | —   | 26.5                       | 29.3 | 31.0 | 7.75                       | 8.51 | 9.57 | /                           | /    | /    | /                          | /    | /    |
| 8   | 280                     | 75     | —   | 136 | 29.6                       | 33.4 | 36.2 | 9.03                       | 9.74 | 10.6 | /                           | /    | /    | /                          | /    | /    |

表一 自硬性安定液の配合と、その硬化体の圧縮強度、曲げ強度、せん断強度、付着強度

事象はベントナイト量が  $\sigma_t$  に大きく寄与しており、土の混入は  $\sigma_t$  の増大させる可能性を示唆している。このことは以下の実験でも確認できた。

(ii) 土が混入した場合

図一4に、土を混入した各試料の  $\sigma_t$  と F との関係を示す。図示したように、両者の関係は土が混入しない場合とやや異なり、混入土の種類、混入量および配合とは無関係に両者は直線関係にあると判定され、平均値間では(1)式が、測定値の下限値では(2)式がそれぞれ成立する。

$$\sigma_t = 0.28F + 0.57 \quad (F \geq 10 \text{ kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots(1)$$

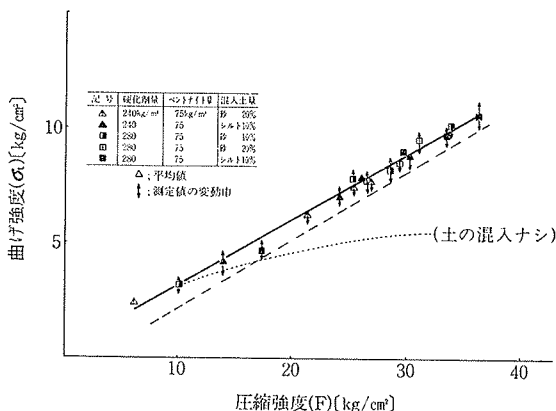
$$\sigma_t = 0.3F - 0.9 \quad (F \geq 10 \text{ kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots(2)$$

上式からも明らかなように、 $\sigma_t$  は F の約 3/10 を示す。

ここで、注目すべきことは図一4に併記したように土が混入した場合の各測定値は(i)に前述の土が混入しない場合の  $\sigma_t$  と F との関係曲線(図中の破線)より上部に位置し、F が大きいものほどより一層顕著である。従って、土の混入は  $\sigma_t$  を著しく増大させ、土の混入による効果が確認できた。さらに F もやや増大傾向にあった。

4.2. せん断強度( $\tau$ )

図一5に材齢に伴うせん断強度の発現性状を示す。図示したように、いずれの配合においてもせん断強度は材齢とともに増大している。また、同一材齢時のせん断強



図一4 圧縮強度と曲げ強度の関係 (土の混入あり)

度は配合によって異なり、富配合のものほど大きい。また土を混入した試料では未混入に比べて、砂の場合にやや大きく、シルトの場合にやや小さい傾向が認められた。この事象は後述のように、せん断強度は圧縮強度と対応関係にあり、同一材齢時の圧縮強度が異なるためと考えられる。

つぎに、図一6にせん断強度( $\tau$ )と圧縮強度(F)の関係を示す。図示したように、両者の間にはややバラツキが認められるものの、Fの増大に伴って $\tau$ は増大し、平均値間では(3)式が、測定値の下限値では(4)式がそれぞれ成立する。

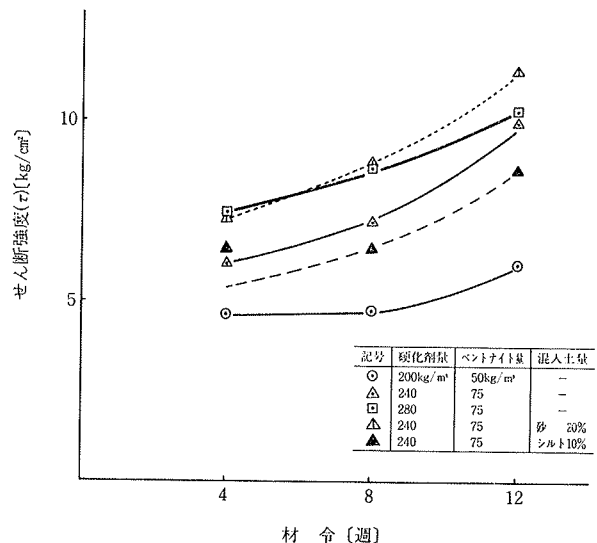
$$\tau = 0.27F + 1.26 \quad (F \geq 10 \text{ kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\tau = 0.12F + 2.6 \quad (F \geq 10 \text{ kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots(4)$$

上記のように、せん断強度は圧縮強度の 1/5~2/5 を示す。

4.3. 付着強度( $f_b$ )

図一7に、異形鉄筋を使用した場合の材齢に伴う付着強度の発現性状を示す。図示したように、いずれの配合においても付着強度は材齢とともにほぼ直線的増大している。また、同一材齢時の付着強度は配合によって異なり、富配合のものほど大きい。また土を混入した試料は



図一5 せん断強度の発現性状

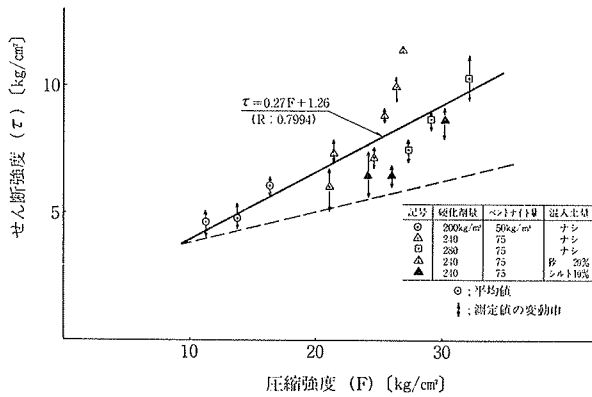


図-6 セン断強度と圧縮強度の関係

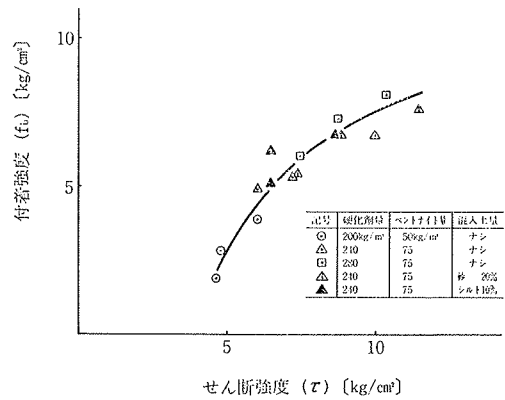


図-9 付着強度とせん断強度の関係

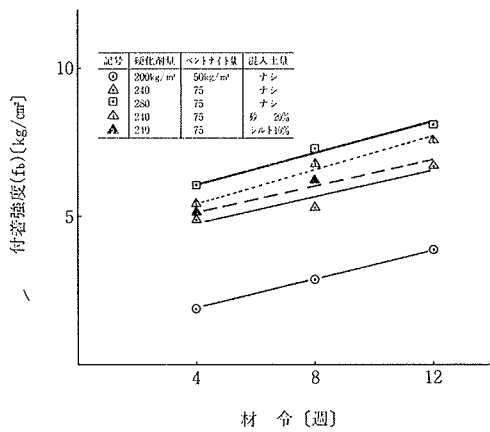


図-7 付着強度の発現性状

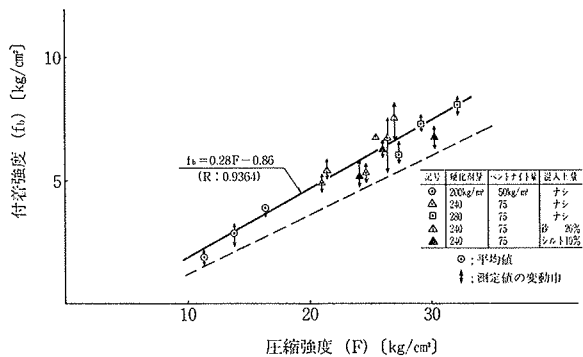


図-8 付着強度と圧縮強度の関係

未混入より大きい。これは後述のように、付着強度は圧縮強度と対応関係にあり、同一材齢時の圧縮強度が異なるためである。

つぎに、図-8に付着強度と圧縮強度の関係を示す。図示したように、配合とは無関係に、圧縮強度(F)の増大に伴って、付着強度( $f_b$ )は直線的に増大し、両者の平均値間では(5)式が、測定値の下限値では(6)式がそれぞれ成立する。

$$f_b = 0.28F + 0.86 \quad (F \geq 10 \text{ kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$f_b = 0.24F + 1.1 \quad (F \geq 10 \text{ kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots(6)$$

上記のように、異形鉄筋への付着強度は圧縮強度の1/5~1/4を示す。なお、結果は明示しないが、丸鋼を使用した場合の付着強度は圧縮強度の1/100~3/100と非常に小さい。この事象は異形鉄筋の付着強度は、コンクリートの場合と同様に、リブによる硬化体のせん断抵抗が強く関与していることを示している。なお、参考までに付着強度とせん断強度の関係を図-9に示しておく。

### 5. まとめ

自硬性安定液の広範囲な利用を意図し、硬化体の諸性状の把握、特に圧縮強度と曲げ強度、せん断強度ならびに付着強度との関係を明らかにすべく一連の室内実験を行なった。ここでは最も使用頻度の多い材料を使用して、掘削時の土の混入をも考慮した各種配合の自硬性安定液を作成し、20℃の標準水中養生を行なって、硬化体の諸性状を測定し、圧縮強度が10~36 kg/cm<sup>2</sup>の範囲内で、以下のことが判明した。

(1) 曲げ強度は圧縮強度の増大に伴って増大する。しかし、両者の関係は混入土の有無によって異なり、混入土が無い場合の曲げ強度は圧縮強度の1/5~1/6と小さいが、混入土が有る場合は約3/10と大きい。

(2) セン断強度は配合、混入土の有無とは無関係に、圧縮強度の増大に伴って増大し、圧縮強度の1/5~2/5を示す。

(3) 異形鉄筋との付着強度は配合、混入土の有無とは無関係に、圧縮強度の増大に伴って増大し、圧縮強度の1/5~1/4を示す。また、付着強度はせん断強度とも対応している。

### 参考文献

1) 喜田, 川地, 齋藤: 自硬性安定液に関する研究 (その1), (その2), 大林組技術研究所報, No. 20, (1980), pp. 65~76