

# 暑中環境下におけるマスコンクリートの 打重ね面の品質向上に関する一考察

浦野知子<sup>1</sup>・青木茂<sup>2</sup>・菅野滋<sup>3</sup>・青木浩之<sup>4</sup>・中野正文<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社大林組 土木技術本部 構造技術部 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2)

<sup>2</sup>正会員 工博 株式会社大林組 土木技術本部 構造技術部 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2)

<sup>3</sup>正会員 株式会社大林組 東京ガス扇島3号JV工事事務所 (〒230-0055 神奈川県横浜市鶴見区扇島 4-1)

<sup>4</sup>正会員 東京ガス株式会社 生産部 (〒230-0055 神奈川県横浜市鶴見区扇島 4-1)

<sup>5</sup>正会員 東京ガス株式会社 生産部 (〒230-0055 神奈川県横浜市鶴見区扇島 4-1)

LNG地下タンクにおける、厚さ8m、面積4500m<sup>2</sup>というマッシブな底版コンクリート打設に際して、暑中環境下の打設、および打重ね時間の遅延により、コールドジョイントの発生に伴う打重ね面の性能の低下が危惧された。そこで、配合・施工面からのコールドジョイント発生防止対策、および施工時の品質管理方法について検討を行った。対策の選定では、打重ね面の簡易一面せん断試験および凝結試験を基に、プロクター貫入抵抗値を打重ね面性能の評価指標として採用し、打継ぎ処理を行った場合と同等以上の打重ね面性能が得られるような対策を選定した。また、品質管理方法としてパイブレータ試験、人的感度試験を導入することにより、良質な底版コンクリートを施工することができた。

**Key Words** : cold joint, placing on consolidated fresh concrete, summer, mass concrete, retarding admixture

## 1. はじめに

近年、トンネルのコンクリートの剥落事故等に見られるように、コールドジョイントに起因する打重ね面の性能の低下によるコンクリート構造物の劣化が顕在化し、問題視されている。そのため、新規構造物の施工においては、コールドジョイントの防止対策を積極的に実施する必要があると考えられる。

LNG地下タンクの底版コンクリートを施工するに当たり、打設時期が夏期となること、打設面積とプラントの供給能力の関係から、水平打重ね時間が長くなることが予想され、コールドジョイントによる各打設リフトの打重ね面性能の低下が危惧された。このため、著者らは、コンクリートの配合・施工面におけるコールドジョイント発生防止対策を選定すると共に、施工時の品質管理方法についても検討を行った。

コンクリートの打重ね面性能を定量的に評価するために、打重ね面の簡易一面せん断試験<sup>1),2)</sup>(以下、せん断試験と略称)およびコンクリートの凝結試験を実施した。さらに、打重ね面のせん断強度とプロクター貫入抵抗値の関係から、目標とするプロクター貫入抵抗値を設定するとともに、所定の打重ね時間において、設定したプロクター貫入抵抗値を満足する防止対策を選定した。

施工時の品質管理方法としては、試験方法が比較的容易なパイブレータ試験<sup>3)</sup>および人的感度試験を用いることとした。プロクター貫入抵抗値とパイブレータ試験結果および人的感度試験結果の関係より、目標とするプロクター貫入抵抗値を満足する管理値を設定し、品質管理を行った。

本稿では、上記コールドジョイント防止対策の選定、品質管理方法、および施工結果について述べる。

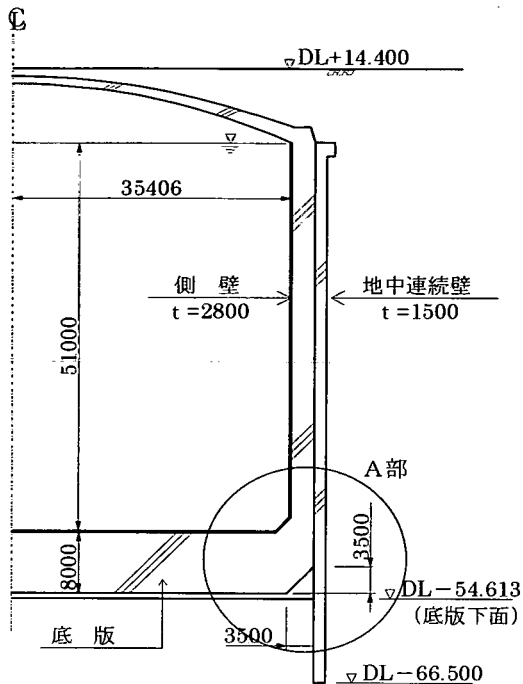


図-1 構造概要図

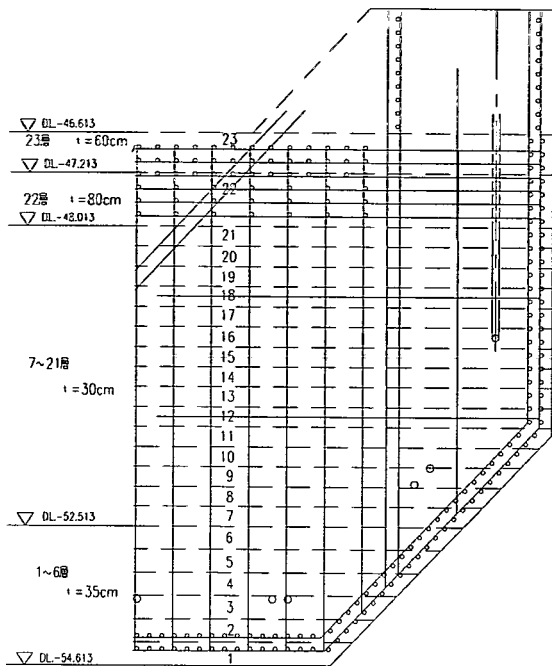


図-2 層割り図 (A部)

## 2. LNG地下タンクの構造および底版コンクリートの打設方法

### (1) 構造概要<sup>4)</sup>

対象構造物のLNG地下タンクの構造概要図(半断面)を図-1に示す。

LNG地下タンクは、内径70.8m、液深51mの20万KLの容量を有する円筒形の構造物である。本体は、コンクリート製躯体(底版:厚さ8.0m、側壁:厚さ2.8m)、コンクリート製屋根より構成される。施工対象である底版は、厚さ8.0m、面積4,500m<sup>2</sup>、コンクリートボリュームは約36,000m<sup>3</sup>と非常にマッシブなコンクリート部材である。

### (2) 打重ね面の要求性能

本検討における打重ね面の要求性能は、「一般的な打継ぎ処理(グリーンカット)を実施した場合と同等以上のせん断強度を有する」と設定した。

### (3) 底版コンクリート打設方法<sup>5)</sup>

底版は、マッシブなコンクリート部材であるが、構造上および工期短縮等の観点から一括で打設することとした。

以下に、底版コンクリートの打設概要を示す。

### a) 層割り

コンクリート打設の層割り図を図-2に示す。

底版の面積は4,500m<sup>2</sup>以上であり、打設面積とプラントの供給能力等の施工条件を考慮し、1層当りの打設高さは、30~35cmを計画した(1層30~35cm当りの層高さ部分は、以下、一般部と称す)。但し、半径、円周方向ともにD51鉄筋が200ピッチに6段配置される上部鉄筋部については、最上段の鉄筋上からのコンクリート打設となり、過密配筋であることから鉄筋下段部の目視によるコンクリートの充填状況の観察が不可能である。そのため、下段の鉄筋間に打重ね面を設けた場合、鉄筋の格子交差部にコンクリートの未充填部分が発生する可能性が考えられた。

そこで、鉄筋間の打重ね面の発生を極力減らすために、一層当りの打設高さを高くすることとし、上部鉄筋部の層割りについては、目視可能な最上段から2段目と3段目の鉄筋間のみに打重ね面を設けることとした。そのため、上部鉄筋部については、1層当りの打設高さが、80cmと高くなり、打重ね時間も長くなることが予想された。

### b) 1層当りの計画打重ね時間

各層の現場での打重ね時間は、打設面積とプラントの供給能力等から以下の様に予想された。

一般部（リフト高さ：30～35cm）：3時間程度

上部鉄筋部（リフト高さ：80cm）：8時間程度

本検討においては、施工時の安全率を考慮した余裕代（現場での打重ね時間の変動と凝結時間の変動）を考慮し、現場での打重ね時間+ $\alpha$ の打重ね時間で要求性能を満足する必要があると考えた。更に、本検討では、打重ね面の性能評価の指標として、プロクター貫入抵抗値を使用することから、先に打設するコンクリート（以下、先打ちコンクリートと略称）の練混ぜ直後から打設終了までの運搬、打設時間も考慮する必要があるため、1層当りの計画打重ね時間を以下の様に設定した。

一般部；現場打重ね時間

$$\begin{aligned} &+ \text{安全率を考慮した余裕代} \\ &+ \text{運搬・打設時間} \\ &= 3.0 + 1.0 + 1.5 = 5.5 \text{ 時間} \end{aligned}$$

上部鉄筋部；計画打継ぎ時間

$$\begin{aligned} &+ \text{安全率を考慮した余裕代} \\ &+ \text{運搬・打設時間} \\ &= 8.0 + 2.0 + 1.5 = 11.5 \text{ 時間} \end{aligned}$$

### c) コンクリート打設時期

底版コンクリートの打設は、2000年8月31日～2000年9月3日の4日間の昼夜連続打設を計画し、夏期打設となることから外気温、コンクリートの打設温度が高く、コールドジョイントが発生し易い条件下での施工となることが予想された。

## 3. コールドジョイント防止対策検討概要

### (1) 検討概要

コールドジョイント防止対策検討フローを次頁の図-3に示す。

#### a) 防止対策の選定

打重ね面のせん断強度、およびプロクター貫入抵抗値を用いて、以下の手順で防止対策を選定した。

- ①実施可能な対策項目を選定する。
- ②防止対策を行い、打重ね時間をパラメータとして打重ねた供試体によるせん断試験を実施する。
- ③打継ぎ処理（グリーンカット）を行って打ち重ねた供試体のせん断試験を実施する。比較用として一体の供試体についてもせん断試験を実施する。
- ④打重ね時において先に打設したコンクリートの凝結試験を実施し、打重ね時のプロクター貫入

表-1 対策項目

| 項目 No. | 対策項目         |
|--------|--------------|
| ①      | AE 減水剤遅延型の使用 |
| ②      | ①+超遅延性混和剤の使用 |
| ③      | ①+表面に水を噴霧    |

抵抗値を算出する。

⑤②③のせん断試験によるせん断強度と④のプロクター貫入抵抗値の関係より、目標とする打重ね面の性能を確保できる目標プロクター貫入抵抗値を算出する。

⑥⑤のプロクター貫入抵抗値を満足する最適の対策項目を選定する。

実施可能な対策項目としては、表-1に示す3項目が考えられた。本検討では、特に上部鉄筋部の打重ね時間が長くなることから、先打ちコンクリートにAE減水剤遅延型を使用するのに加え、超遅延性混和剤（以下、超遅延剤と略称）を添加した場合についても検討を行った。また、施工時の対策として、先打ちコンクリートの表面に水を噴霧した場合についても検討を行った。

#### b) 品質管理方法

バイブレータ試験と人的感度試験を用いて以下の手順により、品質管理方法を設定した。

なお、人的感度試験とは、経験則として、人間が先打ちコンクリートの表面を足で踏んだ場合（以下、足踏み試験と略称）の感覚、およびバイブレータによる締固めを行った場合（以下、締固め試験と略称）の締固め性状により、コンクリートの軟らかさの程度を感覚的に判断する試験のことである。

- ①せん断試験および凝結試験より選定したコールドジョイント防止対策を行った場合の先打ちコンクリートを用いて、所定の打重ね時間におけるバイブレータ試験および人的感度試験を実施し、併せて凝結試験を実施する。
- ②①の試験結果を用いて、バイブレータ試験結果および人的感度試験結果とプロクター貫入抵抗値との関係を算出する。
- ③防止対策選定時に算出した目標とするプロクター貫入抵抗値を満足する各試験の管理値を設定する。
- ④③で設定した管理値を満足する様に実施工時の品質管理を行う。

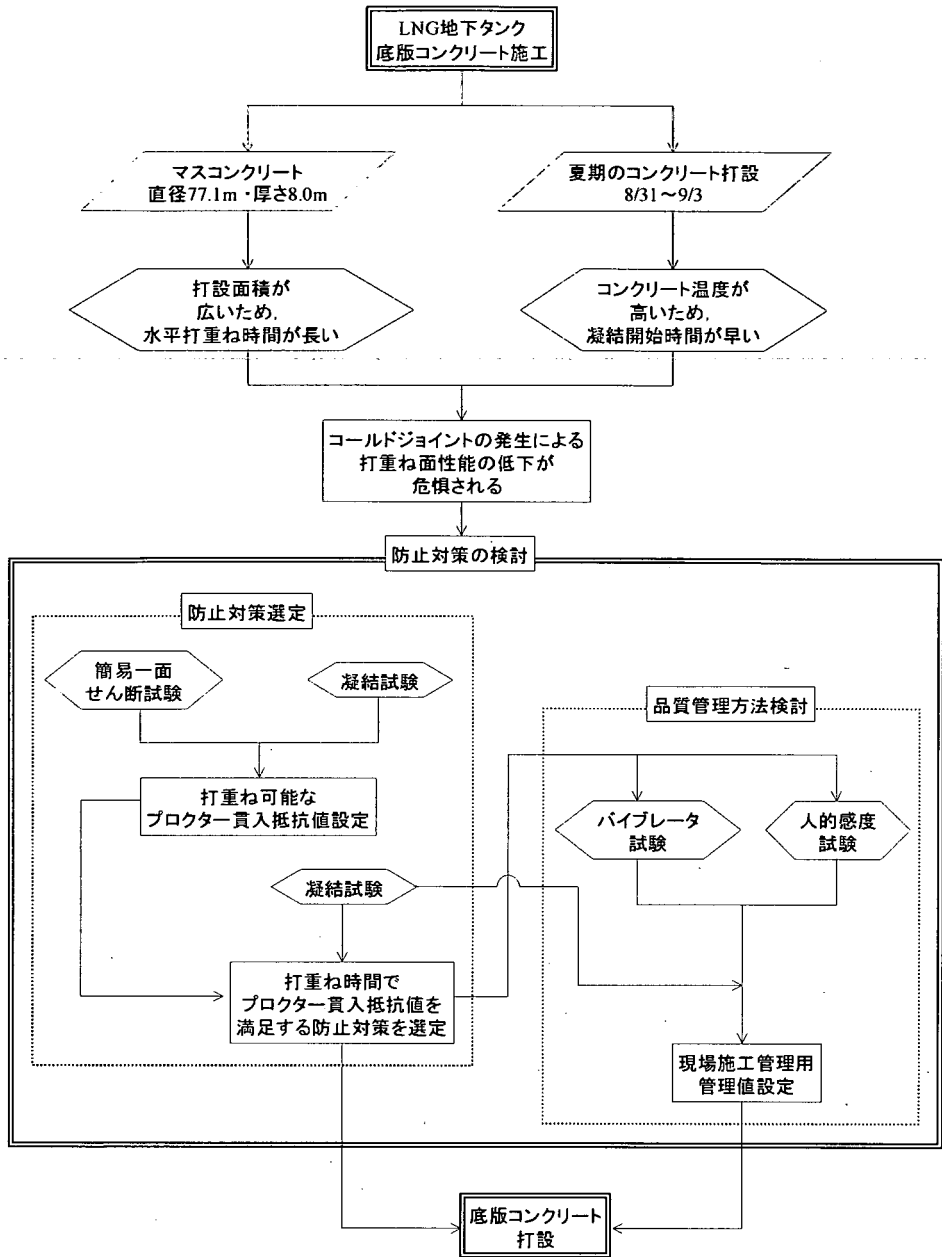


図-3 コールドジョイント防止対策検討フロー

#### 4. 防止対策の選定

##### (1) コンクリート配合

せん断試験で使用したコンクリートの配合と使用材料を表-2および表-3に示す。

##### (2) 試験項目・方法

試験項目および試験方法を表-4に示す。

なお、コンクリートの練り上り温度は、コンクリート打設時の環境条件を考慮し、 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ を目標値とした。

##### (3) せん断試験方法

###### a) 供試体作製

せん断試験には、 $\phi 200 \times H200$ (mm)の円柱供試体を使用した。図-4に供試体概略図を示す。

表-2 検討配合

| 配合 No. | 粗骨材<br>最大寸法<br>(mm) | 水<br>セメント比<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | 空気量<br>(%)  | 単位量(上段:kg/m <sup>3</sup> , 下段:ℓ/m <sup>3</sup> ) |      |     |     |             |            |
|--------|---------------------|-------------------|-------------|-------------|--|------|-----|-----|-------------|------------|
|        |                     |                   |             |             | 水  | セメント | 細骨材 | 粗骨材 | AE<br>減水剤   | 超遅延<br>剤   |
| ①      | 20                  | 55.0              | 48.0        | 5.0<br>±1.0 | 150  | 273  | 876 | 969 | C×<br>1.35% |            |
|        |                     |                   |             |             | 150  | 98   | 337 | 365 |             |            |
| ②      | 20                  | 55.0              | 48.0        | 5.0<br>±1.0 | 150  | 273  | 876 | 969 | C×<br>1.35% | C×<br>0.4% |
|        |                     |                   |             |             | 150  | 98   | 337 | 365 |             |            |

※配合 No. ②は超遅延剤を添加した場合の配合

表-3 使用材料

| 種別   | 使用材料(主成分)                                  |
|------|--|
| セメント | フライアッシュ混入マスコン型高炉セメント                       |
| 混和剤  | AE減水剤遅延型(リグニンスルホン酸塩)<br>超遅延性混和剤(オキニカルボン酸塩) |
| 細骨材  | 山砂   |
| 粗骨材  | 石灰岩  |

表-4 試験項目および試験方法

| 試験項目     | 試験方法       | 備考             |
|----------|------------|----------------|
| スランプ     | JIS A 1101 | 目標値:20±1cm     |
| 空気量      | JIS A 2308 | 目標値:5.0±1.0(%) |
| コンクリート温度 | 棒状温度計      | 目標値:30±1℃      |
| 室内温度     | 棒状温度計      |                |
| せん断試験    | 後述         |                |
| 圧縮強度試験   | JIS A 1108 | 材齢 28 日        |
| 引張強度試験   | JIS A 1113 | 材齢 28 日        |
| 凝結試験     | JIS A 6204 |                |

供試体の製作は、底版コンクリート打設当日の現場の環境条件を考慮し、30±3℃の恒温室にて行った。供試体作製方法を以下に示す。

①コンクリートを練り混ぜ、フレッシュ性状が要求性能を満足していることを確認し、先打ちコンクリート部分に打設する。

②所定の打重ね時間まで、供試体を放置した後、後打ちコンクリートを打設する。後打ちコンクリート打設時には、バイブレータを先打ちコンクリートまで貫入させる。その際、バイブレーターの貫入深さおよび貫入時間を一定とする。

水噴霧は、先打ちコンクリートの表面の乾燥状態に応じ、打重ね時間までの間、随時霧吹きを用いて行う。

打継ぎ処理を実施する供試体については、先打ちコンクリート打設後、打継ぎ面に打継目処理

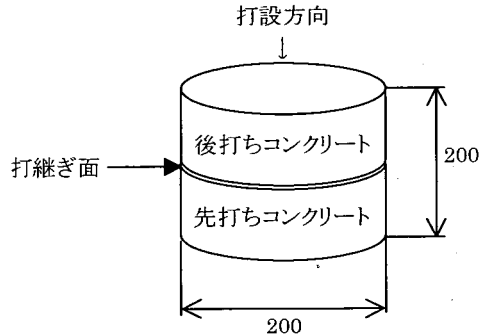


図-4 供試体概略図

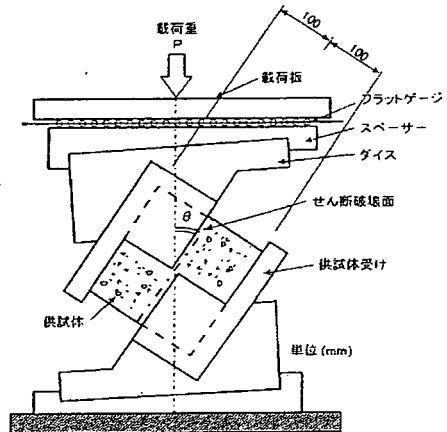


図-5 供試体概略図

剤を散布し、翌日表層の凝結遅延部を圧力水により除去し、後打ちコンクリートを打設する。

③供試体は、後打ちコンクリート打設後 24 時間は、30±3℃の恒温室にて気中養生（急激な乾燥を避けるため、周囲に散水し、シートをかぶせる）とし、その後せん断載荷試験当日までは、20℃の恒温室にてラップを巻いた封緘養生とする。

#### b) せん断試験方法

せん断試験は、後打ちコンクリート打設後、材齢 28 日で実施した。

せん断試験に用いたせん断試験機の概要を図-5 に示す。

表-5 せん断試験 試験ケース

| 項目 No. | 供試体種類     | 打重ね時間 (hr) |   |   |   |   |   |    |
|--------|-----------|------------|---|---|---|---|---|----|
|        |           | 3          | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
| ①      | AE 減水剤遅延型 | ○          | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○  |
| ②      | ①+超遅延剤    | △          | △ | △ | △ | ○ | ○ | ○  |
| ③      | ①+水噴霧     | △          | △ | △ | △ | △ | △ | ○  |
| ④      | 一体打設      | △          | △ | △ | △ | △ | △ | △  |
| ⑤      | 打継ぎ処理     | △          | △ | △ | △ | △ | △ | △  |

表-6 圧縮・引張試験結果 (材齢 28 日)

| 配合 No. | 圧縮試験結果 (N/mm <sup>2</sup> ) |      | 引張試験結果 (N/mm <sup>2</sup> ) |      |
|--------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|
|        | 試験値                         | 平均値  | 試験値                         | 平均値  |
| ①      | 21.4                        | 21.0 | 2.19                        | 2.21 |
|        | 19.5                        |      | 1.92                        |      |
|        | 22.0                        |      | 2.51                        |      |
| ②      | 23.4                        | 23.2 | 1.99                        | 2.20 |
|        | 22.9                        |      | 2.37                        |      |
|        | 23.3                        |      | 2.25                        |      |

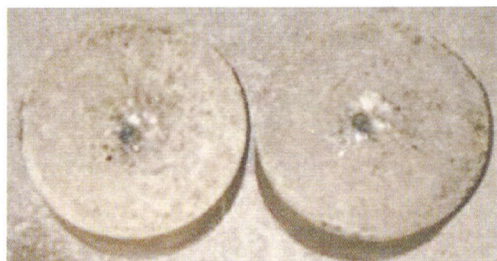


写真-1 せん断面 (AE 減水剤遅延型のみ使用)



写真-2 せん断面 (超遅延剤使用)

また、強度確認のため、材齢 28 日 (せん断試験時) で圧縮強度および引張強度試験を行った。なお、圧縮および引張強度試験に用いる供試体は、せん断試験用供試体と同様の養生方法とした。

せん断試験では、対策項目および打重ね時間をパラメータとした。試験ケースを表-5 に示す。

なお、比較用として、一体打設した供試体についてもせん断試験を実施した。

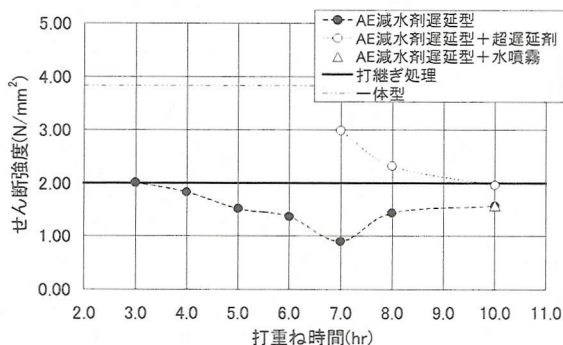


図-6 せん断強度と打重ね時間の関係

試験は、一面せん断とし、純せん断強度を算出するために、載荷方向とせん断破壊面との傾斜角  $\theta = 30^\circ$  を基準とし、上下のスペーサーにより  $\theta = 25 \cdot 35^\circ$  に変化させた計 3 角度で実施した。

せん断試験結果の評価は、試験結果より算出した純せん断強度 (以下、せん断強度と略称)  $\tau_0$  を用いて行った。

せん断強度  $\tau_0$  は、近似的に、各載荷角度の破壊荷重から算出した垂直応力  $\sigma$  とせん断応力  $\tau$  の関係より特定した Mohr - Coulomb のせん断破壊規準線  $\tau = \tau_0 + \alpha \cdot \sigma$  の  $\tau$  軸の切片とした。

載荷速度は、せん断面に働くせん断応力の増加が  $0.4 \sim 0.5 \text{ N/mm}^2/\text{min}$  とした。

#### (4) 試験結果

せん断試験に用いたコンクリートの試験材齢時 (材齢 28 日) における圧縮・引張試験結果を表-6 に示す。

せん断試験結果および打重ね時の先き打ちコンクリートのプロクター貫入抵抗値を次頁の表-7 に示す。

各対策項目における打重ね時間とせん断強度の関係を図-6 に示す。

超遅延剤を使用した場合は、使用しない場合に比べ、せん断強度は増加する傾向を示した。このことから、超遅延剤の使用は、打重ね面の性能向上に効果的であると考えられる。

打重ね時間 7.0 時間とした際の、超遅延剤を使用しない場合と使用した場合のせん断試験後のせん断面の状況を写真-1 および写真-2 に示す。

AE 減水剤遅延型のみを使用した場合、パイプレータ挿入周辺のみには攪拌の跡が見られ、他の部分はペ

表-7 セン断試験結果

| 項目 No. | 対策項目       | 打継ぎ時間 (hr) | 載荷角度 (度) | 載荷量 (kN) | せん断面直径 (mm) |       | 垂直応力                                  | せん断応力                       | 垂直応力とせん断応力の回帰式 (相関係数)                 | せん断強度 $\tau_o$ (N/mm <sup>2</sup> ) | プロクター貫入抵抗値 (psi*) |
|--------|------------|------------|----------|----------|-------------|-------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
|        |            |            |          |          |             |       | $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )         | $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> ) |                                       |                                     |                   |
| ①      | AE 減水剤 遅延型 | 3          | 25       | 118      | 200.1       | 199.5 | 1.59                                  | 3.41                        | $\tau = 0.84\sigma + 2.01$<br>(0.988) | 2.01                                | 13.0              |
|        |            |            | 30       | 134      | 200.0       | 200.0 | 2.13                                  | 3.69                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 189      | 200.0       | 199.9 | 3.45                                  | 4.93                        |                                       |                                     |                   |
|        |            | 4          | 25       | 106      | 200.0       | 200.1 | 1.43                                  | 3.06                        | $\tau = 0.82\sigma + 1.83$<br>(0.987) | 1.83                                | 24.0              |
|        |            |            | 30       | 119      | 199.6       | 199.5 | 1.90                                  | 3.30                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 166      | 199.8       | 200.0 | 3.03                                  | 4.33                        |                                       |                                     |                   |
|        |            | 5          | 25       | 104      | 200.0       | 200.0 | 1.40                                  | 3.00                        | $\tau = 0.93\sigma + 1.52$<br>(0.949) | 1.52                                | 44.1              |
|        |            |            | 30       | 102      | 199.8       | 200.0 | 1.63                                  | 2.81                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 170      | 200.0       | 200.3 | 3.10                                  | 4.43                        |                                       |                                     |                   |
|        |            | 6          | 25       | 90       | 199.9       | 200.0 | 1.21                                  | 2.60                        | $\tau = 1.03\sigma + 1.37$<br>(1.000) | 1.37                                | 81.2              |
|        |            |            | 30       | 125      | 199.6       | 200.0 | 1.99                                  | 3.45                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 187      | 200.4       | 199.6 | 3.41                                  | 4.88                        |                                       |                                     |                   |
|        |            | 7          | 25       | 60       | 200.1       | 200.2 | 0.81                                  | 1.73                        | $\tau = 1.07\sigma + 0.90$<br>(0.997) | 0.90                                | 149.4             |
|        |            |            | 30       | 91       | 200.0       | 199.6 | 1.45                                  | 2.51                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 134      | 200.0       | 200.1 | 2.45                                  | 3.49                        |                                       |                                     |                   |
| 8      | 25         | 107        | 200.4    | 200.0    | 1.44        | 3.08  | $\tau = 1.02\sigma + 1.44$<br>(0.974) | 1.44                        | 274.8                                 |                                     |                   |
|        | 30         | 109        | 200.2    | 200.4    | 1.73        | 3.00  |                                       |                             |                                       |                                     |                   |
|        | 35         | 196        | 200.1    | 200.0    | 3.58        | 5.11  |                                       |                             |                                       |                                     |                   |
| 10     | 25         | 93         | 200.3    | 200.1    | 1.25        | 2.68  | $\tau = 0.93\sigma + 1.57$<br>(0.989) | 1.57                        | 930.0                                 |                                     |                   |
|        | 30         | 131        | 200.0    | 200.2    | 2.08        | 3.61  |                                       |                             |                                       |                                     |                   |
|        | 35         | 167        | 200.1    | 200.2    | 3.04        | 4.35  |                                       |                             |                                       |                                     |                   |
| ②      | ①+ 超遅延剤    | 7          | 25       | 211      | 200.1       | 199.9 | 2.84                                  | 6.09                        | $\tau = 1.09\sigma + 2.99$<br>(1.000) | 2.99                                | 3.3               |
|        |            |            | 30       | 292      | 200.1       | 200.1 | 4.64                                  | 8.04                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 484      | 199.8       | 200.0 | 8.85                                  | 12.63                       |                                       |                                     |                   |
|        |            | 8          | 25       | 157      | 199.6       | 200.0 | 2.12                                  | 4.54                        | $\tau = 1.17\sigma + 2.32$<br>(0.983) | 2.32                                | 5.3               |
|        |            |            | 30       | 317      | 199.6       | 200.0 | 5.06                                  | 8.76                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 438      | 200.0       | 200.0 | 8.00                                  | 11.42                       |                                       |                                     |                   |
|        |            | 10         | 25       | 103      | 200.2       | 200.0 | 1.38                                  | 2.97                        | $\tau = 0.71\sigma + 1.96$<br>(0.992) | 1.96                                | 13.1              |
|        |            |            | 30       | 117      | 200.0       | 200.0 | 1.86                                  | 3.23                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 150      | 200.2       | 200.0 | 2.74                                  | 3.91                        |                                       |                                     |                   |
| ③      | ①+ 水噴霧     | 10         | 25       | 102      | 199.9       | 200.4 | 1.37                                  | 2.94                        | $\tau = 0.90\sigma + 1.58$<br>(0.970) | 1.58                                |                   |
|        |            |            | 30       | 108      | 200.0       | 200.0 | 1.72                                  | 2.98                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 168      | 200.3       | 200.2 | 5.33                                  | 3.06                        |                                       |                                     |                   |
| ④      | 一体型        |            | 25       | 247      | 199.9       | 200.4 | 3.32                                  | 7.11                        | $\tau = 1.05\sigma + 3.83$<br>(0.991) | 3.83                                |                   |
|        |            |            | 30       | 388      | 200.0       | 200.0 | 6.18                                  | 10.70                       |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 533      | 199.6       | 200.1 | 9.75                                  | 13.92                       |                                       |                                     |                   |
| ⑤      | 打継ぎ 処理     |            | 25       | 123      | 200.0       | 200.1 | 1.65                                  | 3.55                        | $\tau = 1.01\sigma + 2.00$<br>(0.977) | 2.00                                |                   |
|        |            |            | 30       | 195      | 199.9       | 200.0 | 3.11                                  | 5.38                        |                                       |                                     |                   |
|        |            |            | 35       | 244      | 200.1       | 200.0 | 4.45                                  | 6.36                        |                                       |                                     |                   |

\*psi(pound square inch) : 1N/mm<sup>2</sup>=145psi

ーストが硬化した平滑な面となっている。これに対し、超遅延剤を使用した場合、骨材がせん断面全面に分布していることから、全断面にわたって攪拌が行われたことが確認できる。これは、超遅延剤を使用することで、先打ちコンクリートが軟らかいうちに攪拌されたため、これによりせん断面に対して

骨材のほぞ効果が期待できる面積が超遅延剤を使用しない場合に比べ大きくなり、せん断強度が増加したものと考えられる。従って、打重ね時の先打ちコンクリートの軟らかさの程度、すなわち先打ちコンクリートのプロクター貫入抵抗値が打重ね面の性能に大きな影響を及ぼすことがせん断面の観察からも

表-8 要求性能を満足した対策項目

| 項目 No. | 対策項目      | 打重ね時間 (hr) | せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|-----------|------------|----------------------------|
| ①      | AE 減水剤遅延型 | 3.0        | 2.01                       |
| ②      | ①+ 超遅延剤   | 7.0        | 2.99                       |
|        |           | 8.0        | 2.32                       |

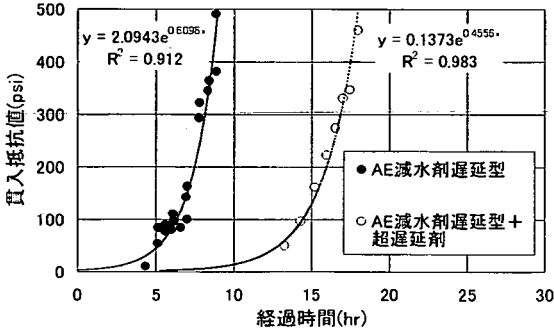


図-7 プロクター貫入抵抗値の経時変化

認められた。

また、超遅延剤を使用した場合、打重ね時間が長くなるにつれ、打重ね面のせん断強度が低下する傾向にある。同様に、AE 減水剤遅延型のみを使用した場合についても、打重ね時間が7.0時間までは、打重ね時間が長くなるとせん断強度が低下する傾向が見られた。このことから、先打ちコンクリートのプロクター貫入抵抗値と打重ね面のせん断強度は一定の相関関係があるものと判断された。

但し、AE 減水剤遅延型を使用した場合、打重ね時間が8.0、10.0時間と長くなると7.0時間の場合に比べせん断強度が上昇する傾向を示した。これは、打重ね時間が8.0時間程度以上となると、先打ちコンクリートの硬化が進み、先打ちコンクリートとパイプレタ周辺部の攪拌による練混ぜができなくなり、パイプレタの挿入によりできた先打ちコンクリートの凹部に後打ちコンクリートが流れ込んでせん断キーのような役割を果たしたためであると思われる。

また、水噴霧を実施した場合としていない場合では、せん断強度に差は見られなかった。これは、打重ね時間が10時間を経過し、先打ちコンクリートの硬化がかなり進んだため、水噴霧による乾燥防止効果が消失したためと思われる。但し、実施工時には、日射の影響によるコンクリート表面の初期の乾燥防止対策として、水噴霧を実施することとした。

打継ぎ処理を行なった場合のせん断試験結果より、打重ね面の要求性能（打継ぎ処理を実施した場合と

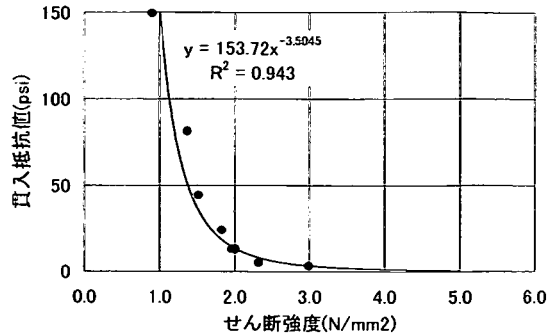


図-8 プロクター貫入抵抗値とせん断強度の関係

表-9 要求性能におけるせん断強度とプロクター貫入抵抗値の関係

| 目標せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 貫入抵抗値 (psi) | 備考       |
|------------------------------|-------------|----------|
| 2.00                         | 14          | 打継ぎ処理と同等 |

同等)を満足するせん断強度  $\tau_0$  は、以下の値となる。

$$\tau_0 \geq 2.00 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$\tau_0 \geq 2.00 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ を満足した対策項目および打重ね時間を表-8に示す。

施工計画では、各リフトの打重ね時間は、一般部で5.5時間、上部鉄筋部で11.5時間である。従って、打重ね面の要求性能を満足するためには、一般部についても超遅延剤を使用し、上部鉄筋部については添加量を増やす必要があると考えられる。

そこで、せん断強度とプロクター貫入抵抗値との関係を求め、打重ね面の要求性能を満足するプロクター貫入抵抗値を算出し、所定の打重ね時間においてこれを満足する超遅延剤の添加量を選定した。

#### (5) 目標プロクター貫入抵抗値の算出

せん断試験に用いた超遅延剤を使用しない場合(配合No.①)と超遅延剤を使用した場合(配合No.②)の先打ちコンクリートのプロクター貫入抵抗値の経時変化を図-7に示す。

前述のプロクター貫入抵抗値とせん断試験の結果から、その相関を求めると図-8のようになる。

図-8より、打重ね面のせん断強度と先打ちコンクリートのプロクター貫入抵抗値との間には、相関性があると考えられる。

そこで、図-8に示すせん断強度とプロクター貫入抵抗値との関係より、要求性能を満足するせん断強度からのプロクター貫入抵抗値を算出した結果を



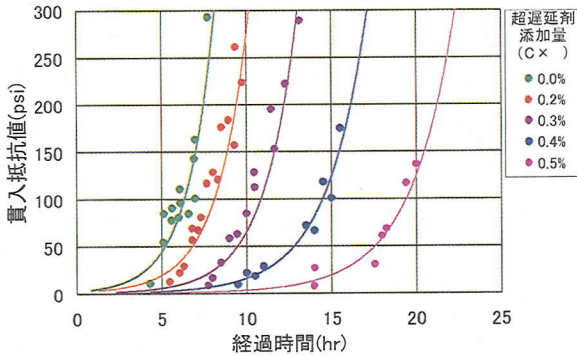


図-9 プロクター貫入抵抗値と経過時間

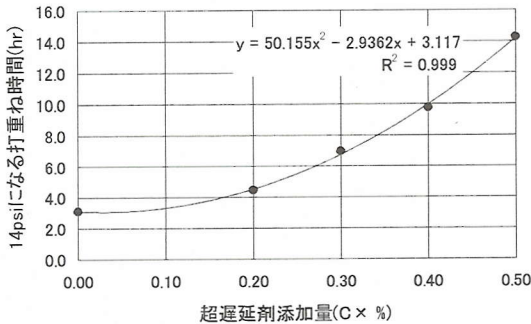


図-10 14psiとなる打重ね時間と超遅延剤添加量の関係

表-9に示す。

表-9より、一般部については5.5時間、上部鉄筋部については11.5時間後のプロクター貫入抵抗値が14psi以下となるように超遅延剤の添加量を設定する必要があると判断した。

#### (6) 超遅延剤の添加量の設定

超遅延剤（プラント同時添加）の添加量を変化させた場合のプロクター貫入抵抗値の経時変化を図-9に示す。

図-9より、14psiとなる打重ね時間と超遅延剤添加量との関係を算出した結果を図-10に示す。

図-10の結果を用いて打重ね面の要求性能を満足する超遅延剤の添加量を算出した結果を表-10に示す。

## 5. 品質管理方法

### (1) 試験項目・方法

試験項目および方法を表-11に示す。

表-10 超遅延剤添加量

| 対象部位  | 計画打重ね時間 (hr) | 超遅延剤添加量 (C×%) |
|-------|--------------|---------------|
| 一般部   | 5.5          | 0.25          |
| 上部鉄筋部 | 11.5         | 0.45          |

表-11 試験項目および試験方法

| 試験項目     | 試験方法       | 備考             |
|----------|------------|----------------|
| スランプ     | JIS A 1101 | 目標値:20±1cm     |
| 空気量      | JIS A 2308 | 目標値:5.0±1.0(%) |
| コンクリート温度 | 棒状温度計      | 目標値:30±1℃      |
| 室内温度     | 棒状温度計      |                |
| 凝結試験     | JIS A 6204 |                |
| パイブレータ試験 | 後述         |                |
| 人的感度試験   | 後述         |                |

表-12 パイブレータの仕様

| 全長 (mm) | 重量 (kg) | 振動部     |         |               |         |
|---------|---------|---------|---------|---------------|---------|
|         |         | 長さ (mm) | 直径 (mm) | 振動数 (vpm)     | 振幅 (mm) |
| 800程度   | 4.0     | 500程度   | 28      | 12,000~13,500 | 約1.8    |

なお、コンクリート練り上り温度は、せん断試験時と同様に、施工時の環境条件を考慮し、目標値を30±1℃とした。

### (2) パイブレータ試験方法

パイブレータ試験の試験手順を以下に記す。

- ①スランプ試験を実施し、フレッシュ性状が要求性能を満足していることを確認する。
- ②スランプ試験に使用した資料をビニール袋に採取し、所定の測定時間まで30±1℃の実験室内で静置する。試料は、ビニール袋を用いた封緘養生とする。
- ③試料をエアメータに軽くほぐしながら詰める。
- ④エアメータの中心位置に表-12に示すパイブレータを垂直に挿入し振動を与える。この時、試料の中心に自重で降ろしていき、パイブレータは無理に動かさない。
- ⑤試料に振動を与えてからモルタルが表面に浮いてくるまでの時間を測定する。

パイブレータ試験概要図を図-11に示す。

上記パイブレータ試験を実施すると共に、凝結試験を行い、パイブレータ試験値とプロクター貫入抵

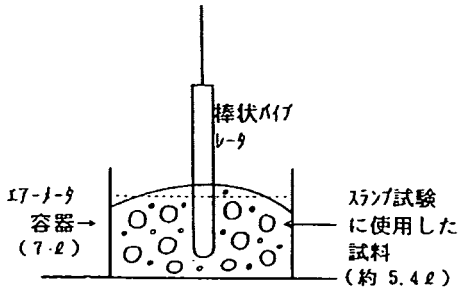


図-11 バイブレーション試験概要図

表-13 流動性状確認用バイブレーションの仕様

| 全長<br>(mm) | 重量<br>(kg) | 振動部        |            |              |
|------------|------------|------------|------------|--------------|
|            |            | 長さ<br>(mm) | 直径<br>(mm) | 振動数<br>(vpm) |
| 4562       | 15.1       | 400        | 52         | 12,000       |

表-14 足踏み試験のグレード

| 感度<br>グレード | 足踏み試験のグレード                  |
|------------|-----------------------------|
| I          | 沈んでしまい、全体重がかけられない           |
| II         | 全体重をかけられるが、<br>足がくるぶし程度まで沈む |
| III        | 全体重をかけられ、足も沈まない             |

表-15 締固め試験のグレード

| 締固めの<br>グレード | 締固めの可否 |
|--------------|--------|
| A            | 締固め可能  |
| B            | 締固めやや難 |
| C            | 締固め難   |
| D            | 締固め不可能 |

抗値との相関関係を求め、目標とするプロクター貫入抵抗値(14psi)を満足するバイブレーション試験の管理値を設定し、施工に反映した。

### (3) 人的感度試験方法

人的感度試験に用いる供試体は、コンクリート練上がり後コンテナおよび円柱供試体(φ200×H200mm)に移し、バイブレーションを用いて整形した上で、30℃の室内に静置した。養生方法は、気中養生とした。所定の打重ね時間が経過した時点で、先打ちコンクリートの表面を足で踏み、軟らかさの程度を感覚として判断するとともに、円柱供試体にバイブレーションを挿入し、その際の流動性状の観察を行った。なお、締固め試験時に用いるバイブレーションは、現場施工時と同様のものとした。締固め試験で使用

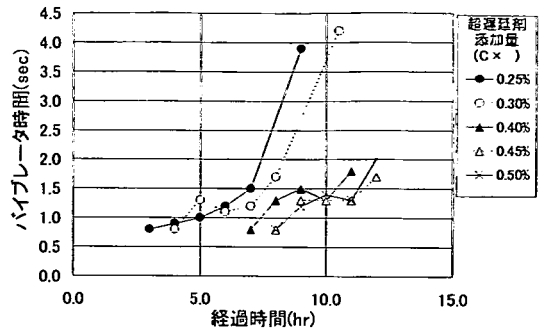


図-12 バイブレーション試験値と打重ね経過時間との関係

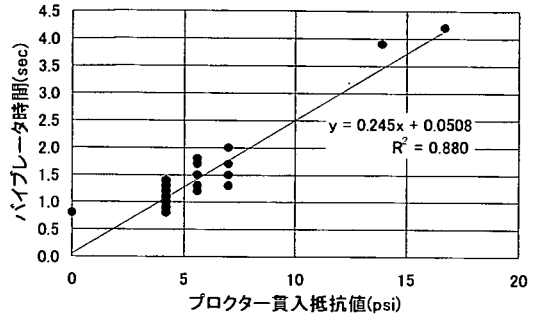


図-13 バイブレーション試験値とプロクター貫入抵抗値の関係

したバイブレーションの仕様を表-13に示す。

足踏み試験のグレードを表-14に、締固め試験のグレードを表-15に示す。なお、足踏み試験のグレードは、例えば、体重48kg、足サイズ23cm程度の人間の場合であり、足踏み試験を行う当事者の条件により、当然異なるものと思われる。

### (4) バイブレーション試験結果

各超遅延剤添加量におけるバイブレーション試験値と打重ね経過時間の関係を図-12に示す。

バイブレーション試験値は、時間が経過するに連れ大きくなる傾向を示した。

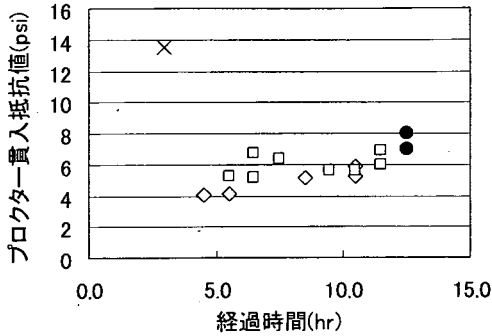
バイブレーション試験値とプロクター貫入抵抗値の関係を図-13に示す。

図-13よりバイブレーション試験値とプロクター貫入抵抗値の間には、ほぼ比例関係が成立つことが推察される。せん断試験より得られた打重ね面の要求性能を満足するプロクター貫入抵抗値は、最大で14psi以下であることから、図-13の近似直線より14psiとなるバイブレーション試験値を算出すると、その値は、3.5秒となる。従って、現場施工時に凝結試験に替えてバイブレーション試験を行う場合の管理値

表-16 打設配合

| 打設部位  | 粗骨材最大寸法(mm) | 水セメント比(%) | 細骨材率(%) | スランプ*(cm)    | 空気量(%)      | 単位量(上段:kg/m <sup>3</sup> , 下段:ℓ/m <sup>3</sup> ) |      |     |     |       |       |
|-------|-------------|-----------|---------|--------------|-------------|--|------|-----|-----|-------|-------|
|       |             |           |         |              |             | 水  | セメント | 細骨材 | 粗骨材 | AE減水剤 | 超遅延剤  |
| 一般部   | 20          | 55.0      | 48.0    | 18.0<br>±2.5 | 5.0<br>±1.0 | 150  | 273  | 876 | 969 | C×    | C×    |
|       |             |           |         |              |             | 150  | 98   | 337 | 365 | 1.4%  | 0.25% |
| 上部鉄筋部 | 20          | 55.0      | 48.0    | 18.0<br>±2.5 | 5.0<br>±1.0 | 150  | 273  | 876 | 969 | C×    | C×    |
|       |             |           |         |              |             | 150  | 98   | 337 | 365 | 1.4%  | 0.45% |
| 最終層   | 20          | 55.0      | 48.0    | 16.0<br>±1.0 | 5.0<br>±1.0 | 150  | 273  | 876 | 969 | C×    | C×    |
|       |             |           |         |              |             | 150  | 98   | 337 | 365 | 1.4%  | 0.0%  |

\*スランプは、現場到着時の規格とした。



|   | 足踏み試験のグレード             | 締固め試験のグレード |               |
|---|------------------------|------------|---------------|
| ◇ | 沈んでしまい、全体重がかげられない      | 締固め可能      | AE減水剤遅延型+超遅延剤 |
| □ | 全体重をかけられるが、足がくぼし程度まで沈む | 締固め可能      |               |
| ● | 全体重をかけられるが、足がくぼし程度まで沈む | 締固めやや難     | AE減水剤遅延型      |
| × | 全体重をかけられ、足も沈まない        | 締固め難       |               |

図-14 人的感度試験結果

は、3.5秒以下に設定し、これを超えた場合には早急に打ち重ねることとした。

(5) 人的感度試験試験結果

人的感度試験結果を図-14に示す。

足踏み試験のグレードがI、締固め試験のグレードがAの場合、プロクター貫入抵抗値は4~6psiの間にある。足踏み試験のグレードがII、締固め試験のグレードがAの場合は、プロクター貫入抵抗値は5~7psiの間となる。更に硬化が進み足踏み試験のグレードがII、締固め試験のグレードがBとなった場合は、プロクター貫入抵抗値は7~8psi程度となる。しかしながら、いずれの場合も、目標とするプロクター貫入抵抗値(14psi)以下であることから、足踏み試験のグレードがII以下、締固め試験のグレー

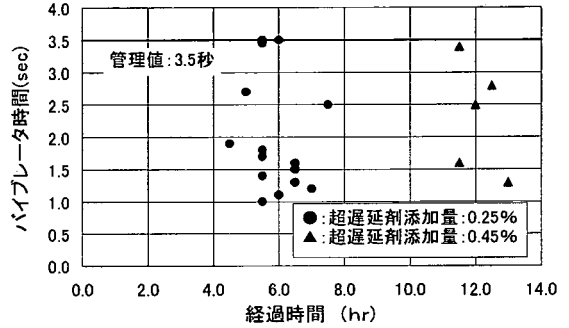


図-15 バイブレータ試験結果

ドがB以下の場合には、目標とする打重ね面の性能は確保できると考えられる。

これに対し、足踏み試験のグレードがIII、締固め試験のグレードがCとなると、プロクター貫入抵抗値はほぼ14psi程度となる。

従って、筒先において先打ちコンクリートの状態が、全体重をかけられ足が沈まない程度に硬化が進み、締固めも難しくなった場合には、早急に打重ねを行わなくてはならないとし、この状態を品質管理の判断基準とした。

6. 施工結果

施工に用いたコンクリート配合を表-16に示す。一般部および上部鉄筋部については、コールドジョイント防止の対策選定結果に従い、超遅延剤をそれぞれ、C×0.25%、0.45%を添加した配合とした。また、最終層については、打重ねはなく、仕上げ面となることから、仕上げ作業の効率化を図るため、超遅延剤を使用しない配合とした。

打重ね時間は、一般部、上部鉄筋部ともに、計画打重ね時間内で打設することができた。

施工管理時に実施したバイブレータ試験の結果を図-15に示す。

なお、バイブレータ試験は、参考のため、打重ねが終了しても、計画打重ね時間および、更に時間が経過した場合について実施した。その結果、バイブレータ試験の結果は、各層によりばらつきは見られるものの、いずれも管理値以下の結果を示した。

また、人的感度試験は、各層の打設直前に実施したが、各リフトとも管理基準を満足する結果を示した。

## 7. まとめ

暑中環境下におけるマスコンクリートの打重ね面の性能向上を目的として行った本検討で得られた結果は以下の通りである。

- ・打重ね面のせん断強度と先打ちコンクリートのプロクター貫入抵抗値とは、比較的良い相関が得られる。
- ・一面せん断試験の結果から、一般的な打継ぎ処理を行った場合と同等のせん断耐力を得るためには、先打ちコンクリートのプロクター貫入抵抗値として14psi以下とすることが望ましい。この値は、既往の文献<sup>6)</sup>で適宜されているコールドジョイントが発生するか否かの境界値(プロクター貫入抵抗値で14~145psi)の最小値と同値であり、管理基準としては適当な値であると考えられる。

- ・打設温度が30℃を超えるような暑中環境下においても、超遅延剤を効果的に使用することにより、打重ね時のプロクター貫入抵抗値を14psi以下と設定した場合で、打重ね時間を約10時間程度確保することができる。

- ・打重ね時間の簡易的管理方法として、バイブレータ試験、人的感度試験は有効である。

## 参考文献

- 1) 瀬古育二, 山口温朗, 自閑茂治: RCDコンクリートのせん断強度に関する検討, ダム技術, No. 26, pp. 56-65, 1998.
- 2) 安田敏夫, 原田暁, 坂本健, 藤田康彦: 凝結遅延剤を添加したコンクリートの諸性質に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 1, pp. 633-638, 1996.
- 3) 竹内徹, 安田敏夫, 坂本健, 原田暁: フレッシュコンクリートの打継ぎ限界の測定法に関する一提案, 土木学会第50回年次学術講演会, V, pp. 1014-1015, 1995. 9.
- 4) 中野正文: LNG地下タンク建設技術の変遷と最新の技術開発, 土木学会論文集, No. 679/VI-51, pp. 1-20, 2001. 6.
- 5) 中野正文, 青木浩之, 佐藤健人, 久保征則: 底版コンクリート36000m<sup>3</sup>を4昼夜で一気に打設, セメント・コンクリート, No. 650, pp. 12-20, 2001. 4.
- 6) 土木学会: コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策, pp. 144, 2001.

(2001.8.6 受付)

## CONSIDERAION TO IMPROVEMENT OF QUALITY IN CONSOLIDATION JOINT OF FRESH CONCRETE OF MASS CONCRETE UNDER THE SUMMER ENVIRONMENT

Tomoko URANO, Shigeru AOKI, Shigeru SUGANO, Hiroyuki AOKI  
and Masafumi NAKANO

In placing massive bottom slab concrete of LNG underground tank, authors had misgivings about the generation of the cold joint that could cause the lower performance in consolidation joint of fresh concrete, because of placing under the summer environment and the delay of consolidation time. Therefore, prevention measures and quality management methods were examined. In the selection of measures, a penetration resistance was adopted as an estimation index based on the shear test and the setting test, and measures to obtain performance in consolidation joint more than the equal that in construction joint were chosen. Good quality concrete was able to be constructed by the vibrator examination and the human sensitivity examination as quality management methods.