

## 【第Ⅲ編 設計例】

## 1. 道路橋 T型橋脚 梁部の事例

### 1. 1 構造物劣化状況の整理

#### (1) 構造物詳細

##### ①一般構造

道路橋 T型橋脚 (梁部)

梁幅 13.75m×梁高 2.50m～1.00m (端部), 梁厚 1.80m

のうち、対象躯体 (梁部) 体積 46.2m<sup>3</sup>

##### ②配筋図

無し (かぶり 100mm)

##### ③設計基準強度

24N/mm<sup>2</sup> (2002年制定 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] より、弾性係数の設計値; 25,000N/mm<sup>2</sup>)

#### (2) 外観劣化状況

##### ①ひび割れ状況

ひび割れ延長 136m (幅 0.2～3.0mm) / ひび割れ密度 1.6m/m<sup>2</sup>

ASR 特有の亀甲状ひび割れが発生しており、ひび割れ幅は拡大する傾向が見られた。

#### (3) コンクリート物性

##### ①圧縮強度・弾性係数

圧縮強度; 22.5～26.3N/mm<sup>2</sup>, 弾性係数; 9,600～12,000N/mm<sup>2</sup>

(設計基準強度を下回る試験結果があり、弾性係数も ASR 劣化構造物特有の低下傾向が見られる)

##### ②促進膨張試験結果

データ無し

##### ③アルカリ量分析試験結果

データ無し; (現場施工時、アルカリ量分析を実施し、抑制剤量の見直しを行うことが望ましい)

#### (4) 補修履歴

無機系注入材 (材料名; 不明) によるひび割れ注入工の補修履歴があるが、表面被覆工による補修履歴はない

## 1. 2 構造物に対する適用性の検討

促進膨張試験結果が無いため、将来的に有害な膨張を生じるかどうかをコアの膨張量により判定することはできないが、圧縮強度・弾性係数の低下、および発生しているひび割れの性状やひび割れ幅が拡大傾向にあることから、【第 I 編 設計・施工基準】 2. 1 適用範囲より、本構造物の ASR による劣化は【加速期 (Ⅲ)】と推察され、本工法の適用範囲に該当している。

## 1. 3 設計抑制剤量、濃度の検討

- ・設計抑制剤量はコンクリート中の  $\text{Na}^+$  に対して  $\text{Li}^+$  のモル比 1.0 と設定する。
- ・アルカリ量分析結果が無いため、過去の実績よりコンクリート中のアルカリ総量 ( $\text{Na}_2\text{O}$  量) を  $5.0\text{kg}/\text{m}^3$  と仮定して設計抑制剤量の算定を行う。
- ・施工時期は 5~8 月 (西日本) の予定であったため、ASR 抑制剤 (亜硝酸リチウム水溶液) は高濃度の 40% 水溶液とする。
- ・下表より、設計抑制剤量は 988kg とする。

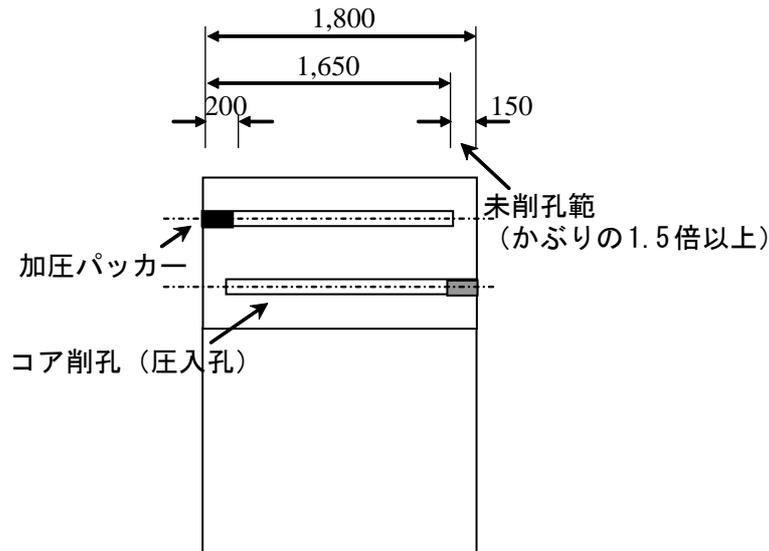
$$(\text{設計抑制剤量 } 21.37\text{kg}/\text{m}^3 \times 46.2\text{m}^3 = 987.3 \div 988\text{kg})$$

亜硝酸リチウム 40% 水溶液 算出表

コンクリート中のアルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}$ 換算 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	アルカリ総量に対する $\text{Na}^+$ 質量; ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	モル比 1.0 となる $\text{Li}^+$ 質量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	ASR 抑制剤量 (40% 水溶液) ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
3.0	2.230	0.677	12.815
4.0	2.970	0.903	17.093
5.0	3.710	1.129	21.370
6.0	1.355	1.355	25.648

#### 1. 4 圧入孔（パッカー種別・圧入孔長）の検討

- かぶりは100mmであるため、パッカー長150～200mmとする。
- 深部存置長は鉄筋かぶりが100mmであるため、 $100 \times 1.5 = 150\text{mm}$ とする。
- パッカーはシングルパッカー（ $\phi 34\text{mm}$ ）で設定する。
- 圧入孔削孔長  $L = 1,800 - 200 - 150 = 1,450\text{mm}$



#### 1. 5 詳細圧入仕様の検討

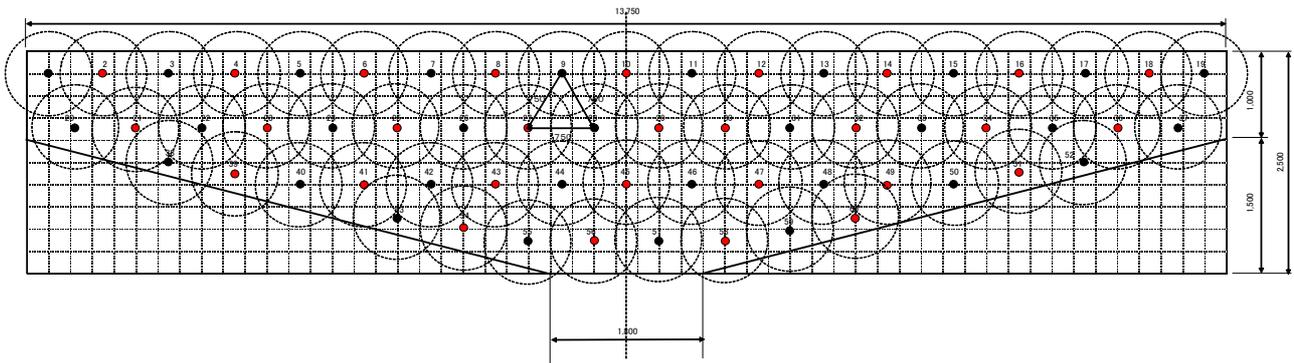
##### (1) 設計注入圧力および上限注入圧力の設定

- 上限注入圧力  
圧縮強度； $26.3\text{N/mm}^2$   
表 4.6-1 より 上限注入圧力  $0.7\text{MPa}$  とする。
- 設計注入圧力  $0.5\text{MPa}$

##### (2) 詳細圧入仕様の検討

###### ①設計注入圧力、圧入孔間隔、圧入孔本数

- 設計注入圧力は  $0.5\text{MPa}$  と設定する。
- 圧入孔間隔は  $750\text{mm}$  とし、【第 I 編 設計・施工基準】4. 5 および 4. 6 に従い、次頁の図のように基本配孔を設定する。
- 圧入孔本数は次頁の図のように 60 孔となった。



② 圧入孔 1 本あたりに圧入する抑制剤量  $Q$  (m<sup>3</sup>)

・ 設計抑制剤量 ; 988(kg) / 1.25 / 1000 = 0.790 (m<sup>3</sup>)

$$Q = \text{設計抑制剤量} / \text{圧入孔本数} = 0.7910 / 60 = 0.013 \text{ (m}^3\text{)}$$

③ 圧入に要する時間  $t$  (hour)、設計圧入日数  $T$  (day)

$$q = 2\pi \cdot k_{\alpha} \cdot L \cdot \frac{10^6 \cdot P}{\rho g} \cdot \frac{1}{\ln(4L/D)} \quad (\text{m}^3/\text{hour})$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 3.14 \times 6.7 \times 10^{-7} \times 1.8 \times (10^6 \times 0.5 / 1250 / 9.8) \times 1 / \ln(4 \times 1.8 / 0.034) \\ &= 3.09 \times 10^{-4} \times 0.1867 = 5.77 \times 10^{-5} \text{ (m}^3/\text{hour)} \end{aligned}$$

ここに、

$Q$  : 圧入孔 1 孔あたりに圧入する抑制剤量(m<sup>3</sup>)

$q$  : 時間当たりの圧入量(m<sup>3</sup>/hour)

$k_{\alpha}$  : 抑制剤の圧入のしやすさに関するパラメータ。コンクリートの圧縮強度に応じて【第 I 編 設計・施工基準】 4. 6 中の表 4.6-1 の値を内挿補間するか、【第 II 編 設計圧入日数の算定方法 (案)】の経験式を参照して設定する (m/hour)

$$k_{\alpha} = 7 \times 10^{-6} \cdot e^{-0.0892 \times 26.3} = 6.7 \times 10^{-7}$$

$P$  : 設計注入圧力 (=0.5) (MPa)

$\rho$  : 抑制剤の密度 (=1,250) (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (=9.8) (m/sec<sup>2</sup>)

$L$  : 部材厚 (=1.8) (m)

$D$  : 圧入孔径 (=0.034) (m)

圧入に要する時間  $t$  (hour) は

$$t = Q/q \quad (\text{hour})$$

$$= 0.013 / 5.77 \times 10^{-5} = 225.30 (\text{hour})$$

このとき、 $T$  : 設計圧入日数(day)は一日あたりの圧入時間を 8 時間とすると

$$T = t / (\text{一日あたりの圧入時間})$$

$$= 225 / 8 = 28.2 \doteq 29 (\text{day})$$

## 1. 6 表面シール工・補助工法含めた全体フローの検討

### (1) 表面シール工（ひび割れ注入工）

鉄筋腐食に対する耐久性確保および ASR リチウム工の際、躯体表面からの抑制剤の漏出・漏洩防止を目的として幅 0.2mm 以上のひび割れに対してひび割れ注入工を行う。ひびわれ注入材は、ASR による劣化が未収束なことや温度変化によるひび割れ幅の季節変動が予想されるため、追従性の高いエポキシ樹脂系弾性タイプを用いることとする。

### (2) 表面シール工（表面被覆工）

ASR リチウム工の際、躯体表面の微細なひび割れからの抑制剤漏出・漏洩防止を目的とし、表面シール工を行う。

本構造物においては、ASR リチウム工施工完了後の保護塗装に指定がないため、表面シール工は、ASR に対して効果が期待できる塗膜材として、有機無機複合型塗膜材を用いる。

## 2. 道路橋 橋台の事例

### 2. 1 構造物劣化状況の整理

#### (1) 構造物詳細

##### ①一般構造

道路橋 橋台

幅 15.00m×高さ 4.25m, 壁厚 0.60m, 対象軀対体積 38.25m<sup>3</sup>

##### ②配筋図

無し (かぶり 50mm)

##### ③設計基準強度

データ無し (推定 21N/mm<sup>2</sup>)

(2002 年制定 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] より、弾性係数の設計値 ; 23,500N/mm<sup>2</sup>)

#### (2) 外観状況

##### ①ひび割れ状態

ひび割れ延長 160m (幅 0.2~3.0mm) / ひび割れ密度 1.8m/m<sup>2</sup>

ASR 特有の亀甲状ひび割れが発生しており、ひび割れ幅は拡大する傾向が見られた。

#### (3) コンクリート物性

##### ①圧縮強度・弾性係数

圧縮強度 ; 16.2~19.0N/mm<sup>2</sup>, 弾性係数 ; 5,500~14,000N/mm<sup>2</sup>

##### ②促進膨張試験結果

全膨張量 1,200×10<sup>-6</sup> (残存膨張量 850×10<sup>-6</sup>)

JCI-DD2 法 3ヶ月試験結果

##### ③アルカリ量分析試験結果

データ無し ; (現場施工時にアルカリ量分析を実施し、抑制剤量の見直しを行うことが望ましい)

#### (4) 補修履歴

無機系注入材 (材料名 ; 不明) によるひび割れ注入工の補修履歴があるが、表面被覆工による補修履歴はない

## 2. 2 構造物に対する適用性の検討

圧縮強度・弾性係数の低下、および発生しているひび割れの性状やひび割れ幅が拡大傾向にあることや、促進膨張試験結果によれば JCI-DD2 における 3 ヶ月経過時の全膨張量が  $500 \times 10^{-6}$  を超えており、今後、有害な膨張を生じることが懸念される。以上のことから【第 I 編 設計・施工基準】2. 1 適用範囲より、本構造物の ASR による劣化は【加速期 (Ⅲ)】と推察され、本工法の適用範囲に該当している。

また、本構造物のように背面に表面被覆を施すことが出来ない構造物では、水分の供給遮断を目的とした補修工のみでは十分に ASR 抑制効果を得ることが出来ない場合が多く、本工法が最も適する構造物の一つである。

## 2. 3 設計抑制剤量、濃度の検討

- ・設計抑制剤量はコンクリート中の  $\text{Na}^+$  に対して  $\text{Li}^+$  のモル比 1.0 と設定する。
- ・アルカリ量分析結果が無いため、過去の実績より、コンクリート中のアルカリ量 ( $\text{Na}_2\text{O}$  量) を  $5.0 \text{ kg/m}^3$  と仮定して設計抑制剤量の算定を行う。
- ・施工時期は 5～8 月 (西日本) の予定であったため、ASR 抑制剤 (亜硝酸リチウム水溶液) は高濃度の 40% 水溶液とする。
- ・下表より、設計抑制剤量は 819kg とする。

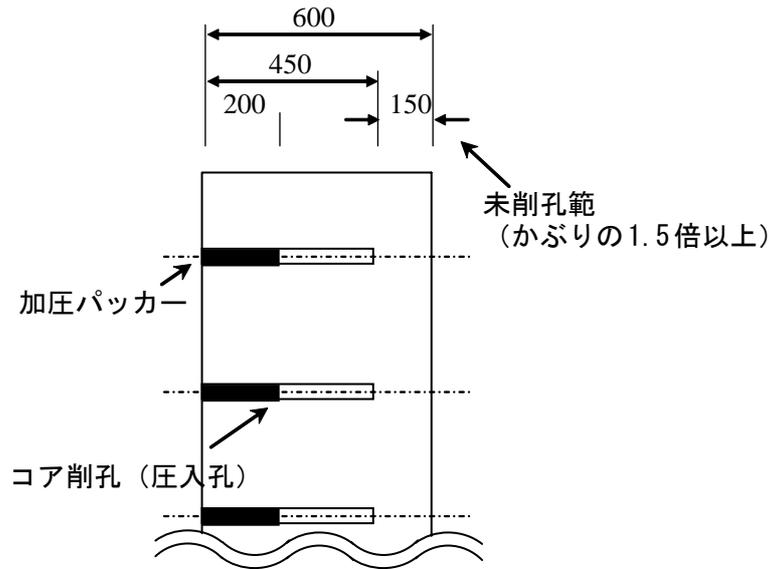
$$(\text{設計抑制剤量 } 21.37 \text{ kg/m}^3 \times 38.3 \text{ m}^3 = 818.4 \div 819 \text{ kg})$$

亜硝酸リチウム 40% 水溶液 算出表

コンクリート中のアルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}$ 換算 ( $\text{kg/m}^3$ )	アルカリ総量に対する $\text{Na}^+$ 質量; ( $\text{kg/m}^3$ )	モル比 1.0 となる $\text{Li}^+$ 質量 ( $\text{kg/m}^3$ )	ASR 抑制剤量 (40% 水溶液) ( $\text{kg/m}^3$ )
3.0	2.230	0.677	12.815
4.0	2.970	0.903	17.093
5.0	3.710	1.129	21.370
6.0	1.355	1.355	25.648

## 2. 4 圧入孔（パッカー種別・圧入孔長）の検討

- ・鉄筋かぶりが50mmであるため、パッカー長150～200mmとする。
- ・深部存置長は鉄筋かぶりが50mmであるため、150mm存置する。
- ・パッカーはシングルパッカー（φ34mm）で設定する。



## 2. 5 詳細圧入仕様の検討

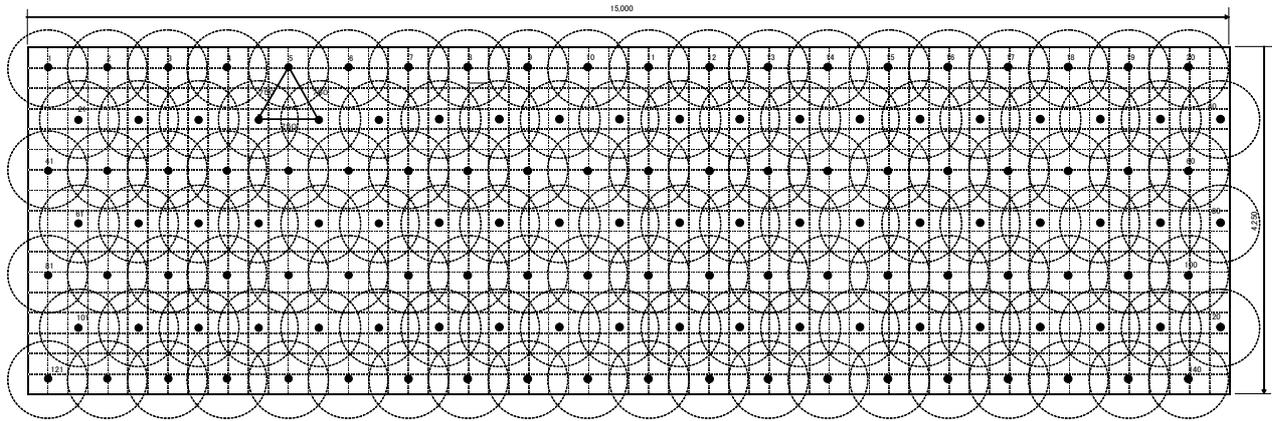
### (1) 設計注入圧力および上限注入圧力の設定

- ・上限注入圧力  
圧縮強度； $1.62\text{N/mm}^2$   
表 4.6-1 より 上限注入圧力  $0.5\text{Mpa}$  とする。
- ・設計注入圧力  $0.5\text{MPa}$

### (2) 詳細圧入仕様の検討

#### ①設計注入圧力、圧入孔間隔、圧入孔本数

- ・設計注入圧力は  $0.5\text{MPa}$  と設定する。
- ・圧入孔間隔は  $750\text{mm}$  とし、【第 I 編 設計・施工基準】4. 5および4. 6に従い、下図のように基本配孔を設定する。
- ・圧入孔本数は次頁の図のように 140 孔となった。



② 圧入孔 1 本あたりに圧入する抑制剤量  $Q$  (m<sup>3</sup>)

・ 設計抑制剤量 ; 819(kg) / 1.25 / 1000 = 0.655 (m<sup>3</sup>)

$Q = \text{設計抑制剤量} / \text{圧入孔本数} = 0.655 / 140 = 0.005$  (m<sup>3</sup>)

③ 圧入に要する時間  $t$  (hour)、設計圧入日数  $T$  (day)

$$q = 2\pi \cdot k_{\alpha} \cdot L \cdot \frac{10^6 \cdot P}{\rho g} \cdot \frac{1}{\ln(4L/D)} \quad (\text{m}^3/\text{hour})$$

$$= 2 \times 3.14 \times 1.3 \times 10^{-6} \times 0.6 \times (10^6 \times 0.5 / 1250 / 9.8) \times 1 / \ln(4 \times 0.6 / 0.034)$$

$$= 2.00 \times 10^{-4} \times 0.235 = 4.7 \times 10^{-5} \quad (\text{m}^3/\text{hour})$$

ここに、

$Q$  : 圧入孔 1 孔あたりに圧入する抑制剤量(m<sup>3</sup>)

$q$  : 時間当たりの圧入量(m<sup>3</sup>/hour)

$k_{\alpha}$  : 抑制剤の圧入のしやすさに関するパラメータ。コンクリートの圧縮強度に応じて【第 I 編 設計・施工基準】4. 6 中の表 4.6-1 の値を内挿補間するか、【第 II 編 設計圧入日数の算定方法 (案)】の経験式を参照して設定する (m/hour)

$$k_{\alpha} = 7 \times 10^{-6} \cdot e^{-0.0892 \times 19.0} = 1.3 \times 10^{-6}$$

$P$  : 設計注入圧力 (= 0.5) (MPa)

$\rho$  : 抑制剤の密度 (=1,200) (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (=9.8) (m/sec<sup>2</sup>)

$L$  : 部材厚 (=0.6) (m)

$D$  : 圧入孔径 (=0.034) (m)

圧入に要する時間  $t$  (hour) は

$$t = Q/q \quad (\text{hour})$$

$$= 0.005 / 4.7 \times 10^{-5} = 106.4 \quad (\text{hour})$$

ただし、

このとき、 $T$  : 設計圧入日数(day)は

$$T = t / \quad (\text{一日あたりの圧入時間})$$

$$= 106.4 / 8 = 13.3 \div 14 \quad (\text{day})$$

## 2. 6 表面シール工・補助工法含めた全体フローの検討

### (1) 表面シール工（ひび割れ注入工）

ASR リチウム工施工完了後の保護塗装の下地処理および ASR リチウム工の際、躯体表面からの抑制剤の漏出・漏洩防止を目的として幅 0.2mm 以上のひび割れに対してひび割れ注入工を行う。ひび割れ注入材は、ASR による劣化が未収束なことや温度変化によるひび割れ幅の季節変動が予想されるため、追従性の高いエポキシ樹脂系弾性タイプを用いることとする。

### (2) 表面シール工（表面被覆工）

ASR リチウム工の際、躯体表面の微細なひび割れからの抑制剤漏出・漏洩防止を目的とし、表面シール工を行う。本構造物においては、ASR リチウム工施工完了後、別途、保護塗装に指定があるため、表面シール工は、ASR リチウム工施工完了後シール撤去がしやすい、ポリマーセメント系下地調整材を用いる。