

報告 後注入型ひび割れ誘発目地の開発と工事への適用

伊藤 誠^{*1}・石川 雅美^{*2}・筒井 光夫^{*3}

要旨：設計上コンクリートのせん断伝達力が期待されている橋脚や耐震壁では、温度ひび割れ対策としてひび割れ誘発目地を設置することは適切でない。しかし、この種の構造物の場合、これ以外の対策では十分な効果が得られず、結果的に温度ひび割れが発生する場合がある。そこで、ひび割れ誘発目地を設置した場合でも、コンクリートのせん断力を確保する方法を考案した。具体的には、目地板にあらかじめ接着剤注入用のホースを取り付けておき、ひび割れ誘発後にエポキシ樹脂によりひび割れ面を確実に接着するものである。本報では、この工法を断面寸法25m×6mの橋脚に適用した例について報告する。

キーワード：後注入、ひび割れ誘発目地、マスコンクリート、温度ひび割れ、FEM解析

1. はじめに

図-1に示すような幅26.0m、奥行16.0m、厚さ4.0mのフーチングとその上に幅24.81m厚さ6.0m、高さ14.1mの脚部を有する橋脚の施工に際して、本構造物はマスコンクリートであるため、セメントの水和熱に起因する温度ひび割れが生じる可能性が高いと推測された。

それゆえ、事前に温度ひび割れに対する危険度を求め、構造物に求められる品質を損なわないよう、対策を検討する必要がある。そこで、土木学会コンクリート標準示方書の記述に沿って、温度ひび割れ指数を算出し、これにより温度ひび割れの発生の危険性を検討した。

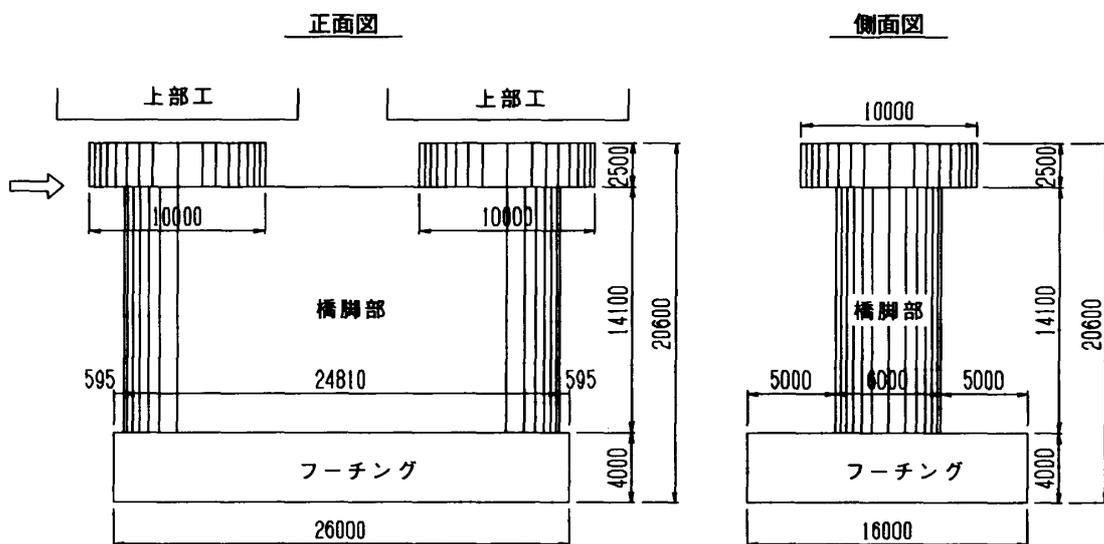


図-1 橋脚概要

*1 東急建設(株)生産技術本部土木技術設計部 工修 (正会員)

*2 東急建設(株)生産技術本部土木技術設計部 工博 (正会員)

*3 東急建設(株)東北支店土木部

2. FEM解析による温度ひび割れの検討

2.1 温度解析および温度応力解析

(1) 解析手法

温度解析は2次元有限要素法を用いて行い、温度応力解析はコンペンセーションプレーン法(CP法)を用いて行った。

(2) 解析モデル

検討に用いた解析モデルを図-2に示す。

(3) 解析条件

使用したセメントは普通ポルトランドセメントで、単位セメント量は300kg/m³である。また、コンクリートおよび地盤の熱定数は表-1の数値を用いた。コンクリートの発熱特性はコンクリート標準示方書に記載されている式を用いて計算した。計算結果を表-2に示す。強度特性については式(1)、式(2)、式(3)を用いた。

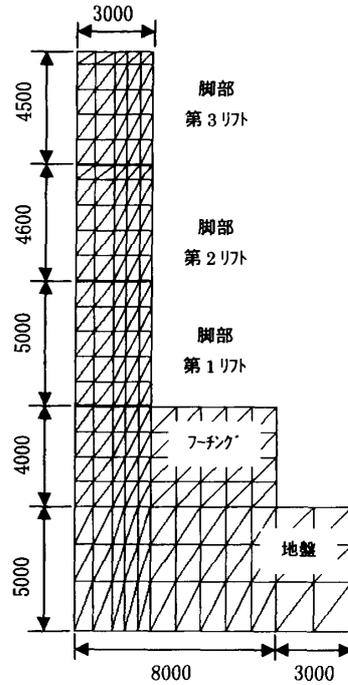


図-2 解析モデル

$$f'_c = \frac{t}{4.5 + 0.95t} f'_c(91) \quad (1)$$

$$f_t = 0.35\sqrt{f'_c(t)} \quad (2)$$

ここに、

f'_c : 材齢 t 日のコンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

f_t : 材齢 t 日のコンクリートの引張強度 (N/mm²)

$f'_c(91)$: 材齢 91 日のコンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

$$E_c(t) = \varphi(t) \times 4.7 \times 10^3 \times \sqrt{f'_c} \quad (3)$$

ここに、

$E_c(t)$: 材齢 t 日のコンクリートの有効ヤング係数 (N/mm²)

$\varphi(t)$: 温度上昇時にクリープの影響が大きいことによるヤング係数の補正係数

材齢 3 日まで $\varphi(t) = 0.73$

材齢 5 日まで $\varphi(t) = 1.0$

(4) 解析結果

脚部についての解析結果を示す。温度解析結果を図-3に、温度応力解析結果を図-4に、温度ひび割れ指数を図-5にそれぞれ示す。

表-1 コンクリートおよび地盤の熱定数

熱定数		コンクリート	地盤
熱伝導率	(W/mm・℃)	0.0028	0.0013
比熱	(J/kg・℃)	1256	0812
密度	(kg/mm ³)	2.3×10 ⁻⁶	1.7×10 ⁻⁶
線膨張係数	(/℃)	1.0×10 ⁻⁵	—

表-2 コンクリートの発熱特性

	フォーム	第1リフト	第2リフト	第3リフト
打設温度 (℃)	26.3	28.3	31.7	30.0
Q _∞ (℃)	45.4	45.2	45.0	45.0
γ	1.377	1.463	1.537	1.537

解析した結果、フーチングについては温度ひび割れ対策を実施しなくても有害なひび割れの発生はないが、脚部については、有害なひび割れの発生する確率が極めて高いという結果が得られた。脚部の温度ひび割れ指数は第1リフト、第2リフトで0.5を下回っており、発生確率は100%である。また、発生すると予想されるひび割れ幅も許容ひび割れ幅である0.35mmを上回っている。そのため、温度ひび割れ対策を講じる必要がある。

2.2 温度ひび割れ対策

温度ひび割れ対策として

- ①低熱ポルトランドセメントを使用する
- ②打設高さを1.5mにする

を検討したが、本構造物は外部拘束が卓越して作用しているため、ひび割れの発生を抑制できる効果的な対策工法とはならなかった。それゆえ、結果的に外部拘束が卓越して作用している場合、ひび割れ誘発目地を設置し、発生するひび割れを集中させたのち補修を行うという対策が最適と判断した。

2.3 適用にあたっての問題点

橋脚などの構造においては、地震時において面内せん断力を受けるため、これに対する耐力が設計上見込まれている。このため、温度ひび割れ対策として、ひび割れ誘発目地を設置することは設計せん断耐力を低下させるため、この種の構造物には適用できない。

また、本構造物は河川内に計画されており、河川内工事は渇水期に限定されているため、脚部第1リフトを打設後、仮締切をすぐに撤去しなければならないという条件があった。そのため、ひび割れ発生後、補修をするということが不可能である。

以上のようなことから、従来のひび割れ誘発目地をそのまま適用することには問題があると考えられた。そこで問題を解決するため、種々の検討を重ねた結果、ひび割れ誘発後に任意の材齢においてそれを積極的に接着できる「後注入型ひび割れ誘発目地」を開発した。

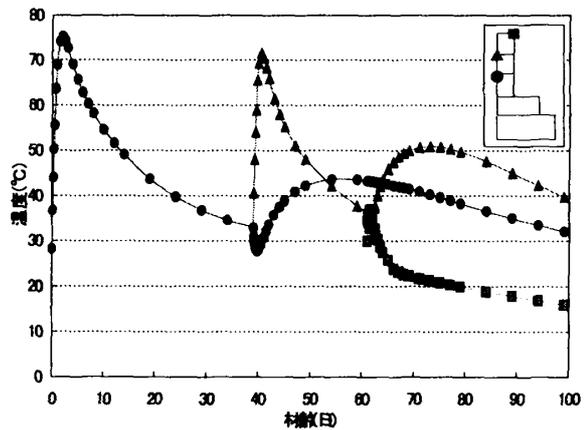


図-3 温度解析結果

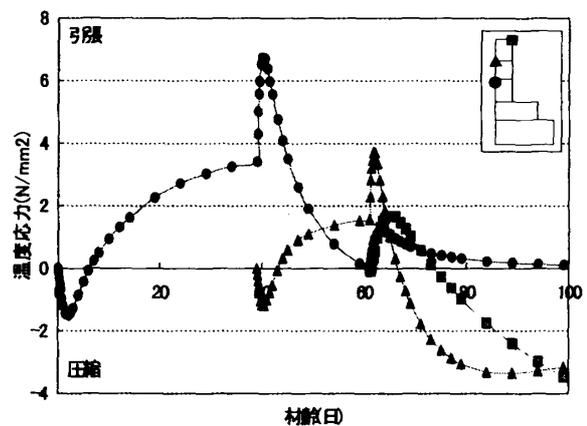


図-4 温度応力解析結果

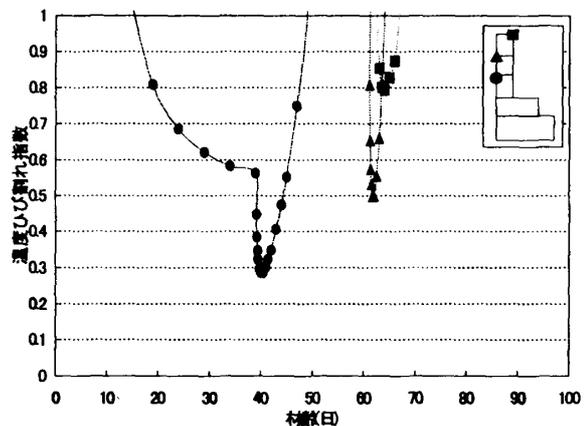


図-5 温度ひび割れ指数

3. 開発技術の概要

「後注入型ひび割れ誘発目地」は、マスコンクリートとして定義される構造物において、ひび割れ発生位置を制御する目的で設けられるひび割れ誘発目地に、接着剤を注入する注入用ホ

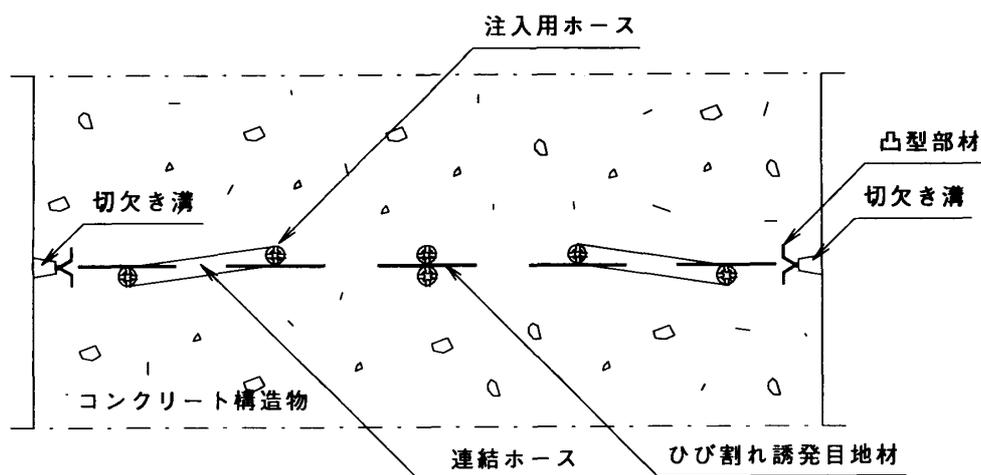


図-6 「後注入型ひび割れ誘発目地」構造概要

ースを取り付けたものである。

コンクリート構造物にひび割れが発生したのち、ホースの一端から接着剤を注入し、コンクリートどうしおよびコンクリートとひび割れ誘発目地材を接着することにより、ひび割れによって分割されたコンクリート構造物は一体化されることになる。それぞれの接着面の接着強さがコンクリートの引張強度よりも大きく、また、接着剤自体がコンクリート強度以上の強度を有していれば、コンクリート構造物はひび割れ発生前の状態に補修されたと考えられ、設計上のせん断耐力は確保されていると考えられる。

4. 開発技術の内容と効果

4.1 構造

「後注入型ひび割れ誘発目地」を設置した構造の概要および拡大図を図-6, 図-7に示す。

本構造は、コンクリート構造物の側面に構造物をはさんで対向する位置に切欠き溝を設置し、対向する切欠き溝の間にひび割れ誘発目地材を設置する。ひび割れ誘発目地材と切欠き溝の間には、凸型部材を設置する。注入用ホースはひび割れ誘発目地材に接触するようあらかじめ取り付けておく。

「後注入型ひび割れ誘発目地」の主な構成部品は以下の3つである。

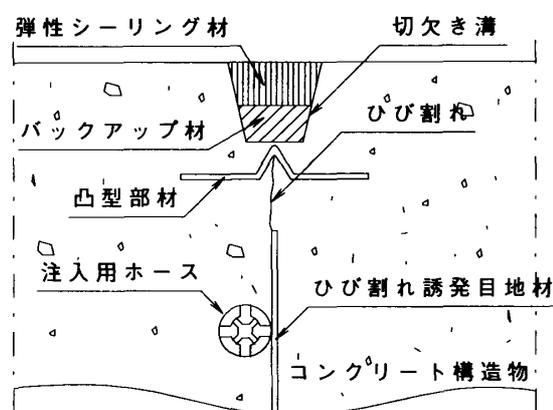


図-7 構造拡大図

(1) ひび割れ誘発目地材

ひび割れ誘発目地材はコンクリート構造物の内部に設置してひび割れを誘発するものである。例えば、亜鉛メッキ等により、コンクリートと付着しにくい加工を施した鉄板などを用いる。

(2) 注入用ホース

注入用ホースはひび割れ箇所に接着剤を注入するためのものである。注入用ホースは逆止弁の機能を有したホースで、内外が通じる孔または溝を有しているものを用いる。また、ホース本体はコンクリートの打設時の圧力によって押し潰されない強度を有する。例えば、コンクリートの打継部を一体化する場合に注入剤充填に利用される図-8示すようなホースを用いる。

(3) 凸型部材

凸型部材は誘発されたひび割れの先端を切欠き溝の内側に誘導するだけでなく、高圧で注入された接着剤が切欠き溝にまで至らないように接着剤の圧力を受け止めて、切欠き溝に充填したバックアップ材および弾性シーリング材等を保護するものである。凸型部材はひび割れ誘発目地材と同様にコンクリートと付着しにくい加工が施されており、ひび割れ誘発目地材としての役割も果たすことができる。また、凸型部材の表面に止水性向上のため非加硫ゴム、ブチル粘着材等を塗布したものをを用いればさらに止水性を高めることもできる。

4.2 注入方法

注入する接着剤については、コンクリート構造物に発生するひび割れに十分浸透できる粒子の細かさと流動性を硬化前に有している必要がある。硬化後は、コンクリート構造物の内部に発生するせん断応力を伝達するためにコンクリート強度以上の強度を有するものでなければならない。例えば、エポキシ等の有機系接着剤や無機系接着剤等を使用する。

注入はコンクリート外部にでている注入用ホースの一端から行なう。目地板に取り付けられている注入用ホースは他の注入用ホースと連結されているので、一方の注入用ホースの端部から接着剤を注入し、他方の注入用ホースの一端からひび割れに浸透しなかった接着剤を排出する。この時、注入側と排出側で圧力を測定することにより、設置されたホース内で目詰まりすることなく接着剤がホース内を流れていることが確認できる。

注入された接着剤は、注入用ホースの孔あるいは溝からしみ出てひび割れに浸透する(図-9)。注入用ホースはひび割れ誘発目地材に接触しているため、ひび割れ誘発目地材とコンクリートの隙間を通じてその周辺に発生したひび割れに接着剤が浸透する。接着剤の浸透範囲を広げるために、注入時に加圧することも可能である。

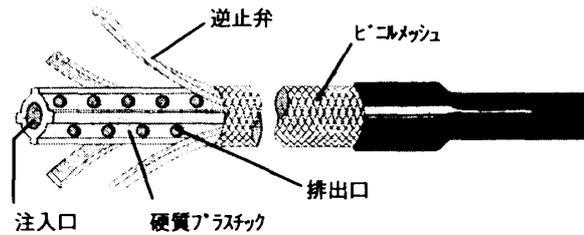


図-8 注入用ホースの構造

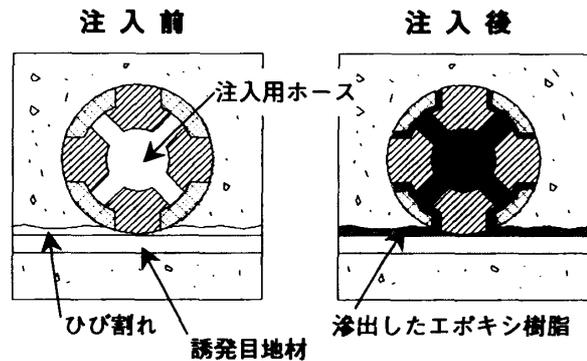


図-9 注入のメカニズム

4.3 効果

今回、開発した「後注入型ひび割れ誘発目地」は次のような効果を得ることができる。

- ①ひび割れが誘発された目地においても、注入用ホースにより接着剤を注入することで、ひび割れ部を完全に接着することができ、コンクリート構造物のせん断耐力の低下を防ぐことができる。
- ②注入用ホースはあらかじめひび割れ誘発目地材に取り付けられており、かつ、その一端がコンクリート構造物の外部にでていたため、従来の工法のように注入用の削孔を行なう必要がなく、容易に接着剤の注入が可能である。また、施工時期を選ばないため、構造物が土中に埋め戻されたり、水中に没したりするなどの状態であっても、ひび割れ部に接着剤を注入することができる。
- ③注入用ホースの注入口から接着剤を注入し、排出口から接着剤の排出を確認することで、ひび割れ部に確実に充填されていることが確認できる。

5. 工事への適用

本橋脚の温度ひび割れ対策として、今回開発した「後注入型ひび割れ誘発目地」を適用した。

「後注入型ひび割れ誘発目地」の設置手順を以下に示す。

- ①注入用ホースをひび割れ誘発目地材に取り付ける。(写真-1)
- ②注入用ホースを取り付けたひび割れ誘発目地材を型枠内部に設置する。(写真-2)
- ③表面に非加硫ゴムを塗布した凸型部材を切欠き溝位置にあわせて、配力筋に取り付ける。この際、誘発されたひび割れが凸型部材の凸部分に導入されるように位置を合わせておく。
- ④コンクリートを打設する。(写真-3)
- ⑤表面切欠き溝部分にコーキングを施す。
- ⑥仮締切が撤去され、構造物が水没する。
- ⑦任意の時期に注入用ホースから接着剤を注入し、ひび割れ補修を行う。(写真-4)

施工上の留意点としては、注入用ホースが、発生するひび割れ部に接していないと接着剤がひび割れ部に浸透しないので、注入ホースをひび割れ誘発目地材に密着するよう堅固に取り付けることが挙げられる。

この「後注入型ひび割れ誘発目地」を用いた結果、ひび割れは誘発目地部分に集中させることができ、構造物水没後に接着剤の注入が可能となり、構造物の品質を保つことができた。

6. まとめ

今回、大型断面を有する橋脚に「後注入型ひび割れ誘発目地」を適用することにより、温度ひび割れを制御し、その補修を確実に行うことに成功した。今後、大型の橋脚が計画されることは多くなると考えられるが、その施工時には工期に制限があったり、側面からの注入が不可能な場合もあると考えられる。そのような条件においてもこの「後注入型ひび割れ誘発目地」は有効な温度ひび割れ対策であるといえる。

なお、本工法については現在特許の申請（整理番号991-015）を行っている。

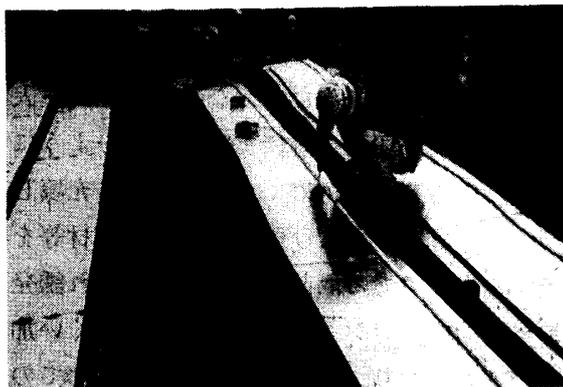


写真-1 注入用ホース取付け

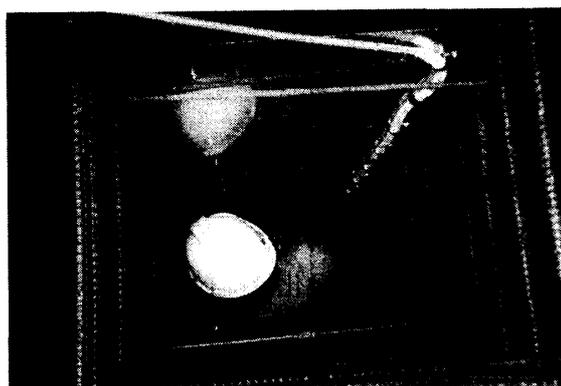


写真-2 ひび割れ誘発目地材設置

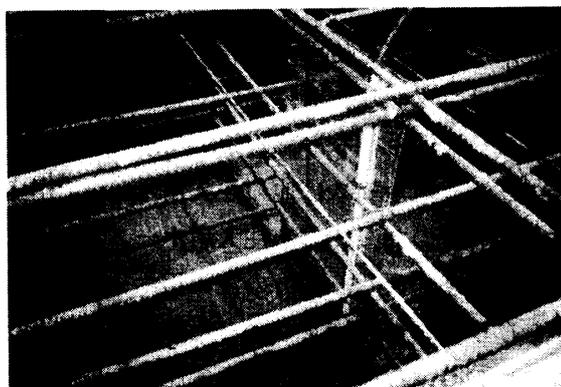


写真-3 コンクリート打設

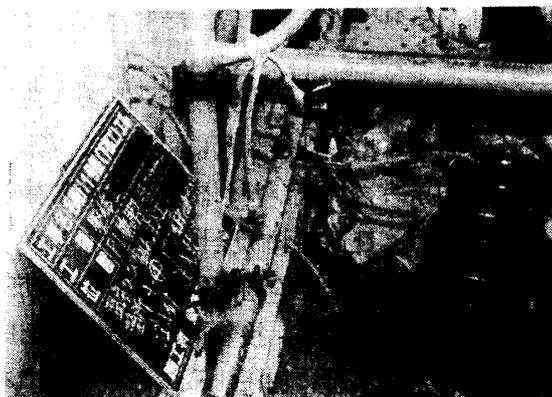


写真-4 接着剤注入