

耐震補強巻き立てコンクリートのひび割れ抑制対策

福島県土木施工管理技士会
佐藤工業株式会社 土木本部

吉田 光 寿[○]
五十嵐 英 美
芳 賀 敦

1. はじめに

我が国の土木施設は極めて耐震性に優れたものと考えられていた。ところが兵庫県南部沖地震により土木構造物の神話までもろくも崩れ去り、大きな被災状況を目の当たりにした。とくに道路や鉄道施設では橋脚がせん断破壊モードで崩壊し交通インフラが完全にストップした。このような状況を受け、急遽耐震設計の見直しや既設構造物の耐震補強に関する取組みが各機関で精力的に行われるようになった。

コンクリート巻き立ても耐震補強のひとつで、内部に帯筋を増やすことでせん断耐力を向上させ、そして主鉄筋を加えることで曲げ耐力を増大させたものである。ここで問題なのは、巻き立てコンクリートである新設コンクリートは温度低下や乾燥収縮の影響により体積変化が生じることである。この体積変化が既設コンクリートに拘束されると引張応力が発生し、ひび割れが表面化するという問題が挙げられる。

そこで本報告は、コンクリート巻き立て工法による耐震補強に関して、巻き立てコンクリートに発生が予想されるひび割れ問題について、発注者へ協議を行い、実施した抑制対策についてとりまとめたものである。

工事概要

工事名 : 安達地区橋梁補強工事
発注者 : 国土交通省福島河川国道事務所
工事場所 : 福島県安達郡安達町油井
工期 : 平成17年3月18日～
平成18年3月15日
工事内容 : 橋脚巻き立て25箇所
落橋防止装置工75箇所



写真-1 耐震補強完了全景

2. 現場における課題

鉄筋コンクリートのひび割れは極めて困難な問題であり、その対応もひび割れ制御とひび割れ抑制とに分けられる。前者はある制限値(許容ひび割れ幅)を設けて、その制限値以内にひび割れを制御する考え方であり、後者はより良い構造物を構築する観点からひび割れの発生を極力抑える方法である。

しかし、現場において発生したひび割れが許容ひび割れ幅以内であっても、構造物にひび割れが発生してしまった場合は、ひび割れ調査が必要となる。また、竣工時の出来映え等の理由から補修を強いられるのが現状であり、結果的には事前にひび割れ抑制対策を講じたほうが得策となる。

したがって、コンクリートの打込み方法や材料の観点から如何にひび割れの生じない構造物を作るかが現場では課題となっている。

コンクリートひび割れの原因

コンクリート構造物において、ひび割れの発生原因の80%は温度応力に起因するといわれる。断面が大きくなると、セメントの水和熱によりコンクリート温度が上昇する。この上昇温度を外部に発散し、温度が低下すると、コンクリートが収縮する。この収縮量が既設コンクリートや岩盤等で拘束されると、コンクリートに引張力が作用する。

また、薄い部材でも、型枠脱型後に急激な温度低下や乾燥収縮を生じると、ひび割れ発生の直接的原因となる。このようにコンクリートに引張応力やひび割れが発生するのは、新設コンクリートが拘束を受けるためである。

この拘束を示したものが図-1である。長さL、高さHの新設コンクリートが拘束されたときに、スパンL中央の拘束度を示している。L/Hが大きくなると、拘束度が大きくなる。L/Hが小さくなると、拘束度が小さい。これはL/Hが小さくなることは、柱部材に近づくこと。また、L/Hが大きくなることは、壁部材やスラブ状の部材になることを意味する。長さが10mを超える壁状構造物や橋台に良くひび割れが認められるのは、温度応力が原因で発生しているためである。

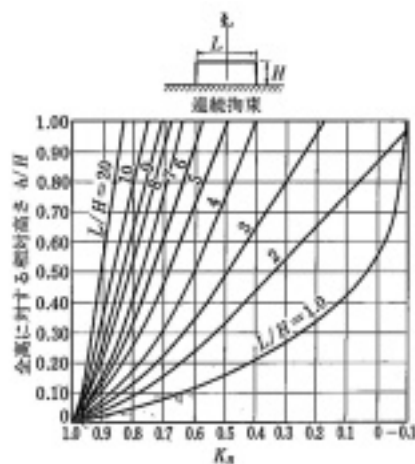


図-1 中央段目における拘束度

3. 対応策

当社が施工した同規模の橋脚耐震補強工事において、構造物にひび割れが発生したため、調査を実施した結果、乾燥収縮によるひび割れが原因であると考えられた。そこで、ひび割れ抑制対策としてコンクリートに膨張材を混和し施工を行った。その時の結果を以下に示す。

表-1はコンクリート打設一覧、図-2、3には橋脚のひび割れ状況を示した。

表-1 コンクリート打設一覧

| 打設部 | 長さ | 高さ | 打設日 | スパン(cm) | 膨張量(%) | 養生方法 | 配合 | 使用セメント |
|------|--------------|-----|-----------|---------|--------|--------|---------|--------|
| P3橋脚 | 0.0 - 3.0m | - | H16.11.22 | 9.8 | 4.4 | 自然 | 24-8-25 | 高伊セメント |
| | 3.6 - 7.0m | - | H16.12.3 | 9.8 | 4.3 | シート+覆風 | | |
| P3橋脚 | 0.0 - 2.9m | - | H16.12.16 | 7.5 | 4.4 | シート+覆風 | | |
| | 2.9 - 8.3m | 壁部材 | H16.12.20 | 9.8 | 4.3 | シート+覆風 | | |
| | 8.3 - 12.8m | 壁部材 | H16.12.24 | 7.5 | 4.0 | シート+覆風 | | |
| P3橋脚 | 12.8 - 15.5m | 壁部材 | H16.12.28 | 9.5 | 4.2 | シート+覆風 | | |
| | 0.0 - 2.9m | - | H16.12.6 | 9.8 | 4.3 | シート+覆風 | | |
| | 2.9 - 8.3m | - | H16.12.9 | 9.8 | 4.1 | シート+覆風 | | |
| | 8.3 - 12.8m | - | H16.12.18 | 9.8 | 4.7 | シート+覆風 | | |
| P3橋脚 | 12.8 - 15.5m | 壁部材 | H16.12.28 | 9.8 | 4.1 | シート+覆風 | | |

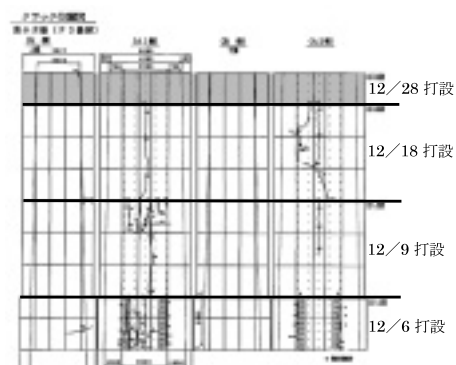


図-2 P3橋脚展開図

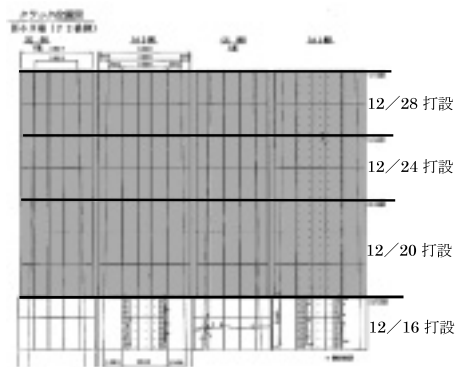


図-3 P2 橋脚展開図

この結果によれば、膨張材を混和した箇所（ハッチング部分）はひび割れ発生がなく、膨張材の効果が非常によく現れていることが確認できた。ここで、ひび割れ発生のメカニズムと膨張材の効果について以下に述べる。

ひび割れ発生のメカニズム

鉛直方向のひび割れを考えると、橋軸直角方向のL/Hが大きく、巻き立てたコンクリートへの拘束が大きくなる。これに対して、橋軸方向は拘束度が小さくなる。その結果、鉛直方向のひび割れは橋軸直角方向に集中する。このような巻き立てコンクリートの応力、ひび割れのメカニズムを模式的に示すと、図-4になる。なお、打ち増したコンクリートのひび割れが発生することは、既設コンクリートに拘束されている。このような拘束は打継目で一体になっているために生じる。

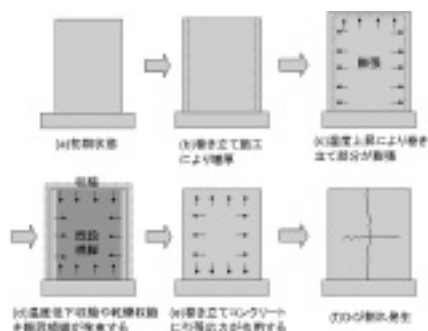


図-4 ひび割れ発生メカニズムの模式

このように、巻き立てコンクリートのひび割れは、巻き立てコンクリートと既設の橋脚が打継目で一体化し、既設の橋脚に拘束された結果として発生する。そのため、ひび割れ対策としては拘束を緩める、温度や乾燥収縮量を小さくし発生応力を低減することにある。

そこで、発生応力を低減するための方法として膨張材の使用が有効となる。

膨張材の効果

拘束応力を小さくするための対応策として膨張材の使用が挙げられる。膨張材はコンクリートの乾燥収縮ひび割れ対策として開発され30年を超える実績がある。

コンクリートは使用条件下で外部に水を逸散すると収縮が生じる。そこで、初期に膨張させることで収縮量を低減しひび割れの発生を抑制するとの考え方である。また、膨張材を使用すると、初期の膨張が既設コンクリートに拘束され、新設コンクリートに圧縮力が導入される。この結果、ひび割れに対して大きな抑制効果が生じる。

図-2、3に示した実績はこれらの効果を物語るものであり、ひび割れ発生を極力抑えとの観点に立てば、膨張材の使用は極めて有効と言える。

また、旧道路公団のコンクリート仕様も混和材として膨張材、流動化剤の添加が標準化されている。

表-2 コンクリート材料品質の違い

| | 正層強度 (N/mm ²) | スランプ (cm) | 収縮率 (%) | 電費率の最大値 (kWh/m ³) | セメントの種類 | 膨張材の種類 | その他 |
|------|---------------------------|-----------|---------|-------------------------------|------------------------|--------|---------|
| 旧道橋台 | 24 | 13±2.5 | 4.5±1.5 | 26.20 | 普通ポルトランドセメント 高がセメント | 膨張材 | 試験機内の追加 |
| 新道橋 | 24 | 8±2.5 | 4.5±1.5 | 15 | 普通ポルトランドセメント 高がセメント | — | — |

そこで、今回工事においては、初めからひび割れ防止を目的とした膨張材の使用を認めてもらうために、過去の実績に加え表-3に示す比較表を作成し協議を行った。

表-3 コンクリート巻き立て工法におけるひび割れ制御・抑制技術の比較

| | 対策1 【事前ひび割れ幅の想定】 | 対策2 【高強度・高収縮低収縮の選定】 | 対策3 【流動化剤の選定】 | 対策4 【養生方法の選定】 | 対策5 【膨張材の使用】 |
|------|--|---|---|--|---|
| 基本計画 | 事前ひび割れ幅を想定したひび割れ制御技術 | 施工次第に起因するひび割れ発生時の制御技術 | | ひび割れの発生抑制技術 | |
| 方法 | 設計条件から、「土木学会 標準規程」の「コンクリート工事適合」コンクリートのひび割れ制御、補修・補強材料(等)などに準拠して、事前ひび割れ幅を算定する。今回の設計条件から、事前ひび割れ幅を $w_f=0.3mm$ と算定。設計コンクリート配合を基本とした設計。 | 事前算定を目的とした「ひび割れ」の確率的な対策。高強度(高)収縮低収縮を使用し、スランピングを $8cm$ から $15cm$ に変更する。 | 事前算定を目的とした「ひび割れ」の確率的な対策。流動化剤を使用し、スランピングを $8cm$ から $15cm$ に変更する。 | 養生方法にひび割れを発生させない。一般部はひび割れを発生させない。 | コンクリート巻き立て工法のひび割れ発生抑制技術。高強度(高)収縮低収縮の採用などである。膨張材を使用することで、収縮低収縮を確保し、ひび割れの発生を抑制する。 |
| 効果 | <ul style="list-style-type: none"> 高強度、高収縮低収縮の採用により、ひび割れ発生が抑制される。 高強度(高)収縮低収縮の採用により、ひび割れ発生が抑制される。 高強度(高)収縮低収縮の採用により、ひび割れ発生が抑制される。 | <ul style="list-style-type: none"> 高強度(高)収縮低収縮の採用により、ひび割れ発生が抑制される。 | <ul style="list-style-type: none"> 高強度(高)収縮低収縮の採用により、ひび割れ発生が抑制される。 | <ul style="list-style-type: none"> 養生方法によりひび割れ幅を算定し、養生方法を決定。 一般部はひび割れを発生させない。 | <ul style="list-style-type: none"> 高強度(高)収縮低収縮の採用により、ひび割れ発生が抑制される。 膨張材の使用による効果がある。 「JIS規格設計・施工標準」で標準的。 |
| | △ | ○ | ○ | ○ | ◎ |
| コスト | <ul style="list-style-type: none"> 事前ひび割れ幅を算定するコストが、補修とネット敷きは対策効果が大きくなる。 ひび割れ発生抑制により補修が必須となる。 | <ul style="list-style-type: none"> 施工次第に起因するひび割れの発生抑制には効果があるが、高強度(高)収縮低収縮に起因するひび割れの発生は可能性がある。 コンクリートの単価が$1,900$円～$3,000$円アップ。 | <ul style="list-style-type: none"> 施工次第に起因するひび割れの発生抑制には効果があるが、高強度(高)収縮低収縮に起因するひび割れの発生は可能性がある。 コンクリートの単価が800円～$3,000$円アップ。 | <ul style="list-style-type: none"> 養生方法はひび割れ幅を算定することから、効果が限定的である。 コンクリート打込み時に養生方法を確保し、養生をひび割れ抑制が実現となる。 | <ul style="list-style-type: none"> コンクリートの単価が$3,000$円～$3,500$円アップする。 |
| | △ | △ | △ | × | ○ |
| 総合評価 | ひび割れ発生はほぼ不安定 | 施工次第の発生抑制に有効 | 施工次第の発生抑制に有効 | 養生方法の効果は不安定 | ひび割れ抑制策から有効 |
| | △ | ○ | ○ | △ | ◎ |

その結果、流動化剤のみの使用を設計変更の対象とするという回答であった。しかしひび割れが発生した場合の調査費用や補修費用を考えた場合のリスクよりもコストアップとなっても、膨張材を使用して品質の高い構造物を構築した方がよとの判断から承諾行為において膨張材の使用を決定した。

表-4はその際のコンクリート配合を示したものである。

表-4 施工に使用したコンクリート配合

| | W/C | | S/A | | 収縮率 | | 単位質量 (kg/m³) | | | | | | | | | |
|------------|------|------|-----|-----|-----|-----|--------------|------|------|-------|------|-----|-----|--|--|--|
| | NS | NS | NS | NS | W | C | S1 | S2 | G | A/C | 流動化剤 | 膨張材 | その他 | | | |
| 34-25-2500 | 21.2 | 43.0 | 4.5 | 165 | 382 | 559 | 221 | 1848 | 3.22 | 1.252 | 20 | | | | | |



写真-2 膨張材と現場での投入状況

その結果、ひび割れが発生することなく巻き立てコンクリートを完成することができた。

4. おわりに

本工事は、ひび割れのないコンクリートを作るために必要な材料的特性やひび割れ発生メカニズムを十分理解したうえで、さらに設計変更に導いていくことが課題であった。

出来映えについては、ひび割れのない巻き立てコンクリートの構築によって発注者から高い評価を得ることができた。しかし、設計変更段階において流動化剤の変更も認められない結果となり、最終的には $3,400$ 円/m³の持ち出しとなってしまったのが悔やまれる。

ひび割れが発生した場合のリスクを考えれば今回のひび割れ抑制対策の実施は非常に効果が得られたものと考えられる。また、ひび割れ抑制対策の提案が、設計変更の土俵にまであがったことは成果であると思われる。

今後もこのような技術の蓄積を図りながらより良い構造物を造るための設計変更の提案を行っていくことが重要であると思われる。