

壁状構造物の温度ひび割れ低減工法の開発・実用化

日本コンクリート技術 野島 省吾
日本コンクリート技術 篠田 佳男

1. 開発経緯

マスコンクリートは、セメントの硬化時の水和熱がひび割れの原因となる構造物と定義される。下端が拘束される壁状構造物は、温度ひび割れが発生しやすい典型的な構造物である。この種のひび割れは断面を貫通することが多く、事前に温度応力解析を踏まえた対策が必要である。

ひび割れは壁体の下端から上部に 3～5m 間隔で発生する。そのため、対策としては、図-1 に示すようなひび割れ誘発目地を壁体の上下に配置する方法が一般的である。

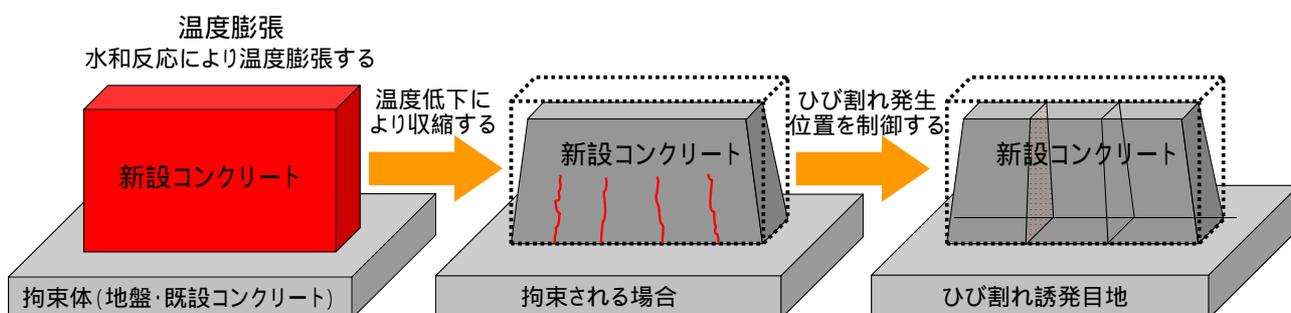


図-1 ひび割れ誘発目地の役割

これに対し、弊社は拘束体からの拘束を軽減し、図-2 中央に有るような、モデルを再現するための研究・開発を行ってきた。その成果として 2007 年から研究・開発を進め、ND-WALL 工法を開発し、2008 年に NETIS 登録(登録番号：TH-080005-A)された。

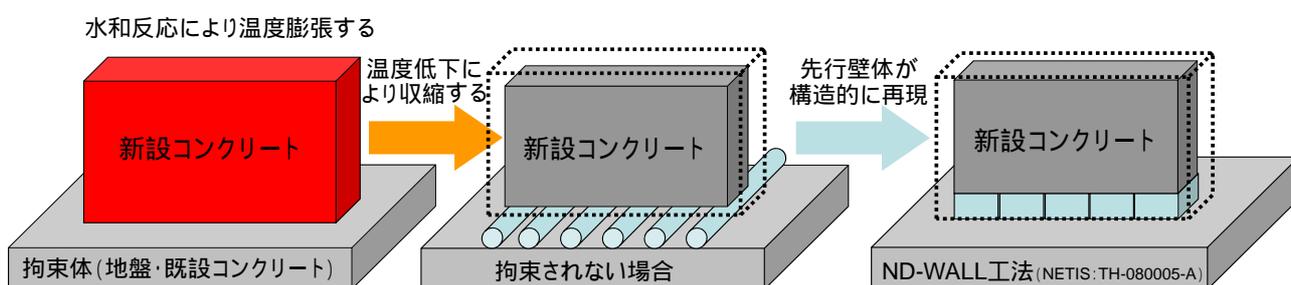


図-2 非拘束モデルとそれを先行壁体(水色部分)で再現した ND-WALL 工法

2. ND-WALL 工法

ND-WALL 工法では壁部の構築に先んじて収縮低減目地を有する先行壁体部を配置することにより、壁部の作用する底版からの拘束力を低減して、ひび割れ発生を抑制するものである。すなわち、壁部コンクリートの体積変化に応じて先行壁体部に配置した収縮低減目地が開閉することにより、拘束力を低減させ、温度ひび割れの抑制を行うものである。

先行壁体を配置する ND-WALL 工法のメリットとしては以下の 2 点が挙げられる。

- ・目地の設置個所を先行壁体部に集中できるため、全高に配置に比べて、目地数を少なくすることができる。これにより、目地設置に係る施工コストを低減し、高所作業量も減少し、安全性の向上も望める。
- ・目地が集中する先行壁体部は目線より低く、美観が向上する。特に、先行壁体部が埋戻し等により地中に隠れる場合は有効となる。

2.1 ND-WALL 工法 室内実験

ND-WALL 工法のメカニズムを把握するために、足利工業大学において室内実験を行った。試験体は、一般工法および ND-WALL 工法による壁状構造物の施工をそれぞれ模擬した 2 体とした。表-1 にコンクリートの配合、図-3 に試験体寸法、写真-1 に試験体の製作状況を示す。また、図-4.5 に代表的な試験結果を示す。温度履歴がほぼ同じ条件のもとでひずみ履歴を比較した場合、ND-WALL 工法モデルの方が一般工法モデルよりも温度降下時の温度-ひずみ関係(図-4)における傾きが大きくなり、より自由に変形していることが分かる。その結果、材齢 7 日におけるひずみの絶対量は通常試験体と比較して 20% 程度大きくなっている(図-5)。このことは、実験レベルで ND-WALL 工法において先行壁体部に設けた収縮低減目地により、通常試験体と比較して拘束が低減されていることを示している。

表-1 コンクリートの配合

| セメント種類 | W/C (%) | s/a (%) | 単 位 量 (kg/m ³) | | | |
|--------|---------|---------|----------------------------|------|-----|-----|
| | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |
| H | 40 | 48.0 | 170 | 425 | 808 | 892 |

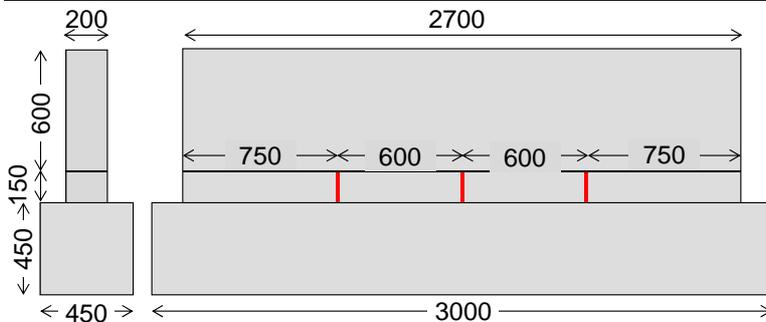


図-3 室内試験体の形状寸法



写真-1 試験体製作状況

(左:通常試験体 右:ND-WALL 試験体)

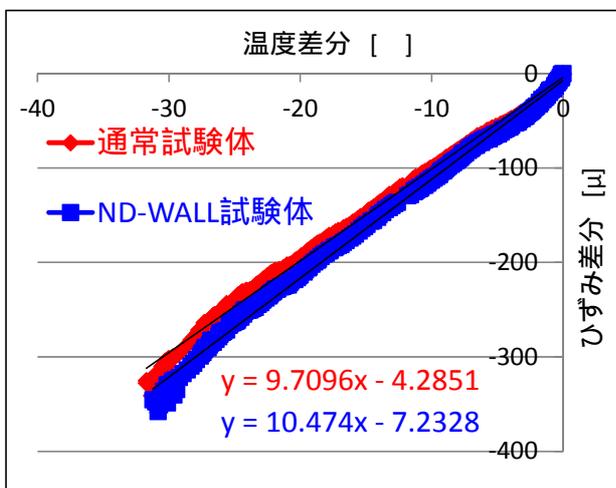


図-4 温度下降時ひずみ勾配比較

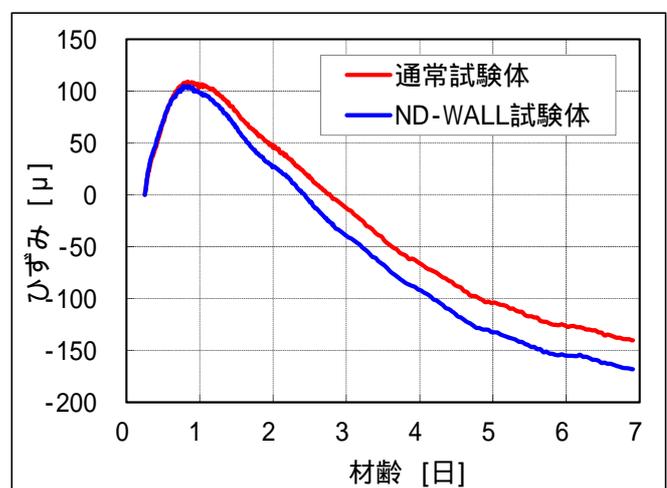


図-5 材齢-ひずみ関係

2.2 ND-WALL 工法 実証実験

実規模モデルに近い試験体を使用して、ND-WALL 工法の概念が正しく機能するのを確認するために実証試験を行った。試験体に使用したコンクリートの配合を表-2 に、試験体の形状寸法を図-6 に、試験実施状況を写真-2 に示す。先行壁体を設けた試験体は、図-6 に示した「先行壁体+1.25 m 間隔収縮低減目地」タイプの他に、「先行壁体+収縮低減目地なし」、「先行壁体+2m 間隔収縮低減目地」の計 3 タイプ作製し、先行壁体を設けない通常試験体と比較検討を行った。試験結果の一部を図-7 に示す。黒線で示した無拘束時の理想的な挙動に、ND-WALL 工法試験体の方がより近い挙動を示していることから、外部拘束低減効果が認められた。

表-2 コンクリートの配合

| セメント種類 | W/C (%) | s/a (%) | 単 位 量 (kg/m ³) | | | |
|--------|---------|---------|----------------------------|------|-----|------|
| | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |
| N | 55 | 41.0 | 154 | 280 | 783 | 1142 |

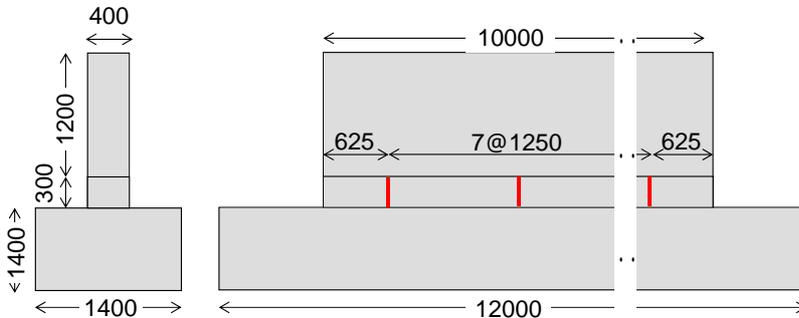


図-6 実証実験試験体寸法



写真-2 実証実験実施状況

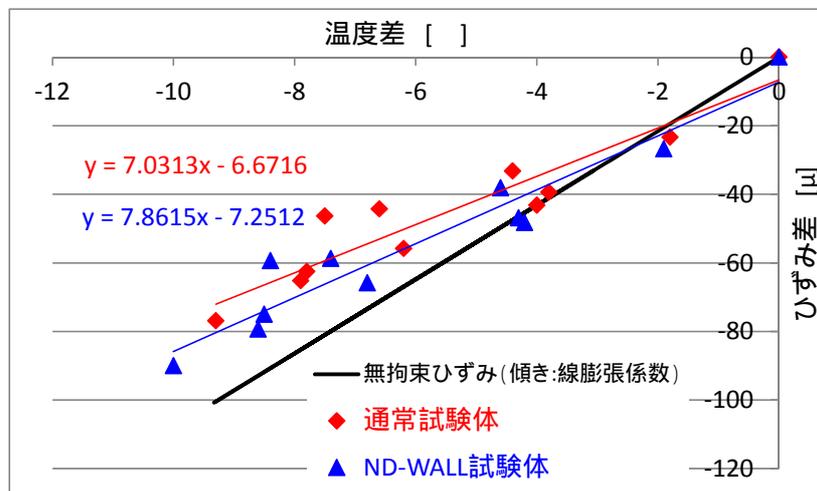


図-7 実証実験 温度降下時ひずみ勾配比較

これら実験結果と施工実績を踏まえて、2007 年度に国土交通省東北地方整備局郡山国道事務所発注「塩川地区改良工事」、長野県発注「平成 18 年度国補住宅市街地基礎整備工事」に採用された。ND-WALL 工法は 2008 年 NETIS (TH-080005-A) に登録され、2011 年 8 月現在、全国で 28 件の採用が決定している (内 23 件が施工済み)。採用構造体内訳としては函渠工 20 件、橋台 6 件、L 型擁壁、下水道施設に各 1 件となっている。

3 . ND-WALL 工法 (仮称)

3 . 1 工法のメカニズム

ND-WALL 工法のように非拘束を構造的に再現する場合、後に構造体としての機能を損なわない必要性から、その拘束低減効果は構造体の寸法によっては限定されたものとなる。また、先行壁体を配置するために、先行壁体部の構築によるリフト数の増加が生じる。これらの問題点を解消し、施工面の向上を目的に現在材料面から取り組んでいるものが、ND-WALL 工法 (仮称)である。図-8 にその概念図を示す。

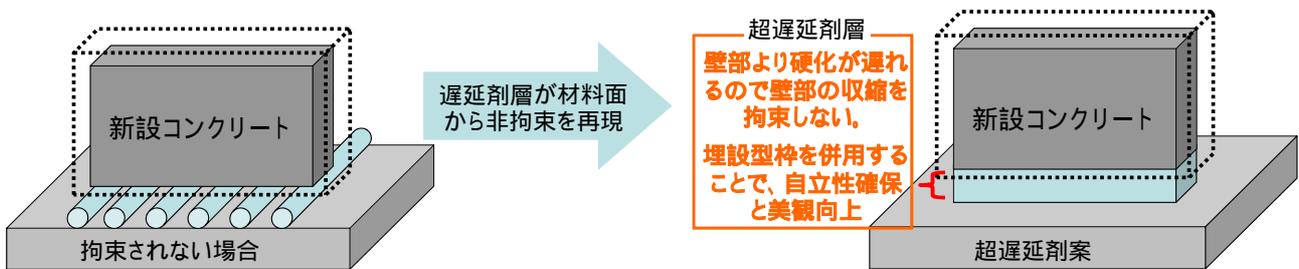


図-8 ND-WALL 工法 のメカニズム

ND-WALL 工法 も、既設コンクリート等からの外部拘束を低減しようとする考え方は同じである。ND-WALL 工法ではその役割を先行壁体が担っていたが、ND-WALL 工法 ではその代わりに超遅延剤を使用したコンクリートに着目した。超遅延剤使用コンクリートはリフト厚 400 ~ 600mm で、この部分の強度発現を数日間遅らせて、その上部に打ち込まれた新設コンクリートの体積変化時の拘束を大幅に低減するものである。遅延剤使用コンクリートは新設コンクリートと同日に打ち込むので、リフト数の増加はない。また、対象構造物の寸法によらず、一定の外部拘束低減効果が期待できる。これらは先に挙げられた ND-WALL 工法の問題点を解決するものである。

3 . 2 室内試験

ND-WALL 工法 実用化に向けて超遅延剤の遅延効果と外部拘束低減効果の関係を把握するために東北大学において室内試験を行った。試験体は、超遅延剤コンクリートへの遅延剤の混入率を諸元として、セメント量に対して 0.2、0.5% 混和した RA0.2、RA0.5 試験体と未混和の BS 試験体の計 3 体とした。表-3 にコンクリート配合、図-9 に試験体寸法、写真-3 に試験体の製作状況を示す。

表-3 コンクリートの配合

| セメント種類 | W/C (%) | s/a (%) | 単 位 量 (kg/m ³) | | | |
|--------|---------|---------|----------------------------|------|-----|-----|
| | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |
| H | 35 | 43.7 | 175 | 500 | 724 | 934 |

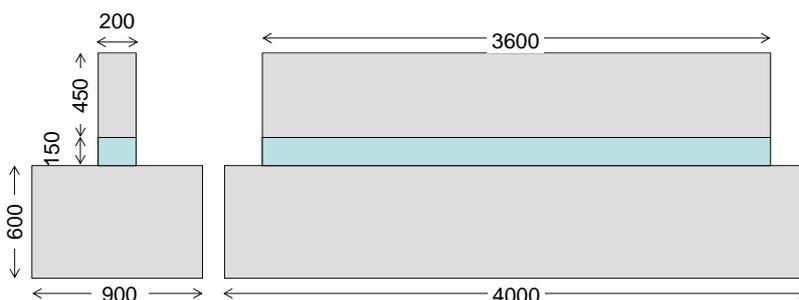


図-9 室内試験体の形状寸法

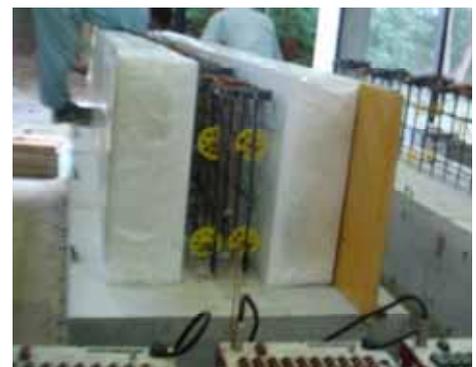


写真-3 試験体作製状況

遅延剤は温度 58 前後で溶融するマイクロカプセル内に封入したものを使用し、マスコンクリート同様の温度上昇を実現するために、写真-3 に示すように発泡スチロールにて断熱効果を高めた。

図-10,11 に試験結果の一部を示す。ND-WALL 工法同様に、超遅延剤を混入した RA0.2,0.5 試験体は BS 試験体と比較して、温度変化に対して自由に変形していることが分かる(図-10)。これにより RA0.5 試験体では引張応力が BS 試験体と比較して約 30%低減している(図-11)。しかしながら超遅延剤の遅延期間によっては、RA0.2 試験体のように最終的に生じる温度応力が大きくなってしまふ場合がある(図-11)。これは実用化に向けた重要な知見であり、開発課題といえる。

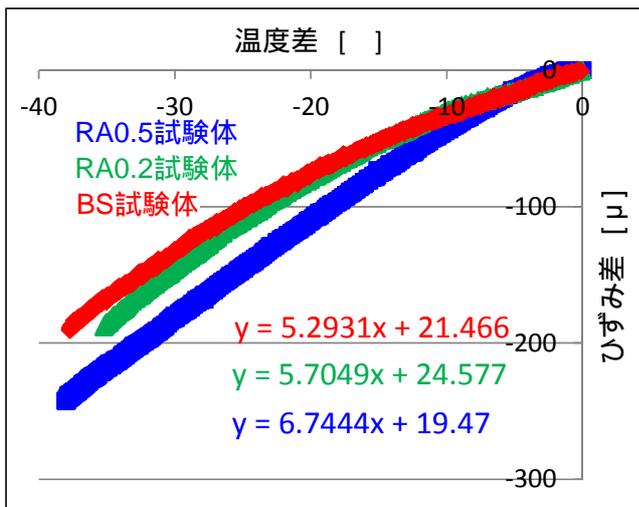


図-10 温度下降時ひずみ勾配比較

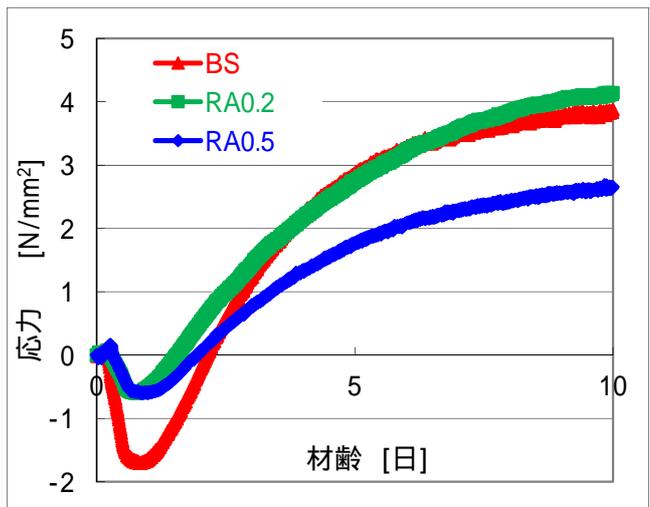


図-11 材齢-応力関係

3.3 実規模試験

実構造物に ND-WALL 工法 を適用するに当たっては、超遅延剤使用コンクリートの遅延期間と外部拘束低減効果の関係の他に、他の部分との一体性や長期耐久性、強度発現が遅れる期間の対策とその有効性の確認も重要となる。以上より、より実構造物に近い規模と環境における実規模試験を計画し、2011年8月より現在実施中である。

実規模試験体は、超遅延剤使用コンクリートの外周部に埋設型枠に設置した遅延剤使用試験体と、比較検討用の標準試験体の2体を作製した。埋設型枠は脱型不要のプレキャスト製品で、強度発現までの養生機能と美観の向上を実現している(写真-4 参照)。また、室内試験で使用したマイクロカプセル封入タイプの遅延剤では温度計測による遅延期間の同定が困難であり、カプセル溶融温度に達しなかった場合にその効果が大きく低減してしまうことから使用を見送り、液状遅延剤を後添加することとした。表-4 に使用したコンクリートの配合を示す。今回使用した遅延剤は流動性を向上させる効果も有していたため、超遅延剤使用の配合は他の部分とは別個に調整した。

表-4 コンクリートの配合(超遅延剤使用)

| 部位 | セメント種類 | W/C (%) | s/a (%) | 単 位 量 (kg/m³) | | | |
|-------|--------|---------|---------|---------------|------|-----|------|
| | | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |
| 一般部分 | BB | 54.4 | 44.1 | 172 | 316 | 795 | 1009 |
| 超遅延剤層 | BB | 54.6 | 45.7 | 167 | 306 | 833 | 990 |

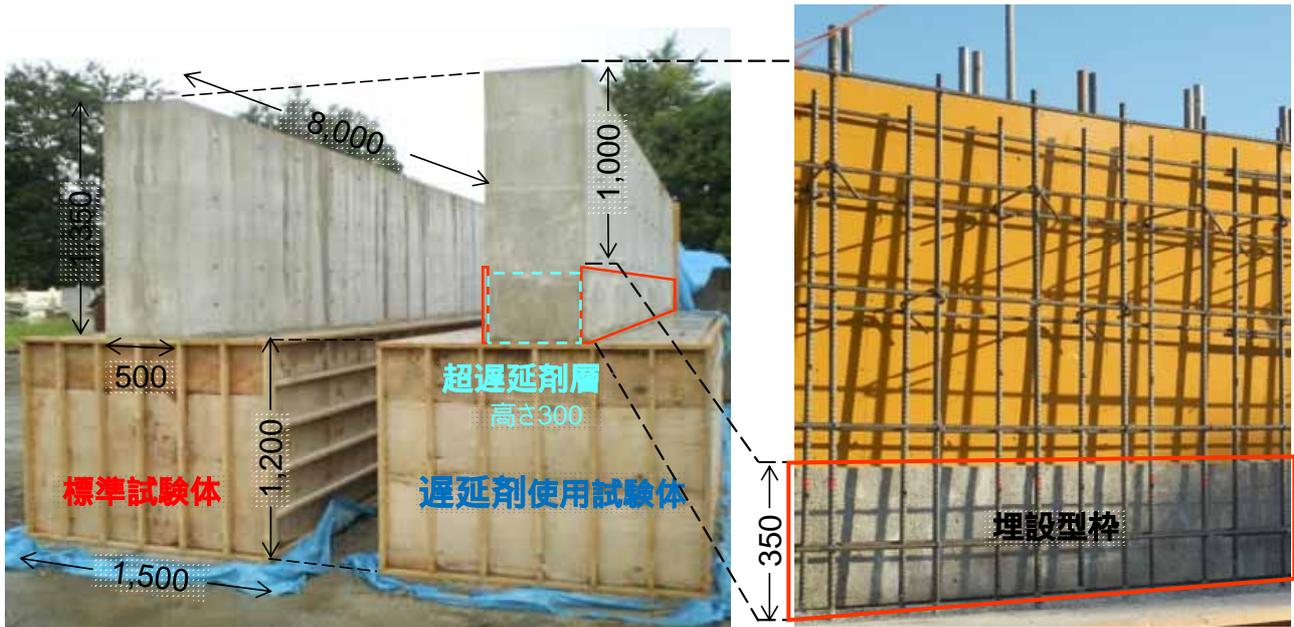


写真-4 実規模試験体の形状寸法および埋設型枠設置状況

4. おわりに

壁状構造物のひび割れ制御技術の開発・実用化を 2007 年度から進めた。その間、京都大学大学院工学研究科 河野広隆教授および足利工業大学 工学部都市環境工学科 宮澤伸吾教授には開発から指導を受け ND-WALL 工法の実用化へ推進した。東北大学 大学院工学研究科都市・建築学専攻 三橋博三教授(現東北工業大学)には超遅延剤コンクリートの室内実験でご教授頂いた。また、北沢建設株式会社、西松建設株式会社、株式会社フローリックをはじめ関係各位のご協力を得たことに感謝を申し上げます。

コンクリート構造物の大きな課題である温度ひび割れについて、今後とも積極的に取組み、さらに有効な技術として実用化推進ができれば幸いである。