

# 報告 アルカリ炭酸塩を含むひび割れ自己治癒コンクリートのフレッシュ性状

細田 暁<sup>\*1</sup>・小林 薫<sup>\*2</sup>・松田 芳範<sup>\*3</sup>・石渡 大嗣<sup>\*4</sup>

**要旨：**アルカリ炭酸塩を含むひび割れ自己治癒コンクリートのフレッシュ性状を検討した。炭酸水素ナトリウムを混和したコンクリートにこわばりが生じ、フレッシュ性状が著しく低下する場合があった。本報告の範囲内では、炭酸リチウムを混和したコンクリートには著しいフレッシュ性状の低下は見られなかった。炭酸水素ナトリウムを混和する場合は、コンクリートの単位水量を少し増加することでこわばりが解消された。これらの知見を踏まえ、アルカリ炭酸塩を含むひび割れ自己治癒コンクリートを実構造物に打設した。

**キーワード：**フレッシュ性状、アルカリ炭酸塩、こわばり、自己治癒

## 1. はじめに

膨張材を混和した低水結合材比 25%～45%の膨張コンクリートは、ひび割れ発生後に外部から水分が供給される場合に、ひび割れ近傍のコンクリートの追加膨張及びひび割れ部に水和物が析出することによる自己治癒機能を有する。しかし粉体量が多い低水結合材比の膨張コンクリートは、製造コストが高く、未反応の膨張材が長期材齢まで残存することによる膨張破壊の懸念もある。

筆者らは、より汎用的な配合で自己治癒機能を達するため、アルカリ炭酸塩を含む系についても検討してきた。水結合材比を 50%とし、炭酸水素ナトリウムや炭酸リチウムなどのアルカリ炭酸塩を混和した膨張コンクリートのひび割れ部において結晶の析出が確認されている<sup>1)</sup>。

2007 年 11 月下旬に、アルカリ炭酸塩を含む自己治癒コンクリートを実構造物へ打設した。2007 年 9 月上旬に生コンクリート工場の試験室で試験練りを実施した際に、炭酸水素ナトリウムを混和した膨張コンクリートに著しいこわばりが生じた。

11 月に予定されていた打設までに、工場の実機での練混ぜ、アジテータ車での運搬、現場での打込みが可能な自己治癒コンクリートの配合を検討した。打込み可能な配合の検討過程では、2 つの工場でフレッシュ性状試験をしたため、同様のスランブを示す配合でありながら、異なる骨材、セメントを用いた場合のフレッシュ性状を把握することもできた。

本研究では、アルカリ炭酸塩によるこわばりの原因と解決策を見つけ、実構造物に打込み可能なフレッシュ性状を有する自己治癒コンクリートの配合を見つけることを目的とする。試験練りの過程で得られた知見と、実機で練混ぜた際のフレッシュ性状を報告する。

## 2. 試験概要

### 2.1 本施工までの試験練りの流れ

図-1 に試験練り全体の流れを示す。試験練り 1 回目 (2007 年 9 月上旬) で炭酸水素ナトリウムを混和したコンクリートにおいて著しいこわばりが生じ、フレッシュ性状の低下が生じた。試験練り 2 回目 (9 月下旬) のみ、他の試験練りとは異なる工場で実施され、異なるセメント・骨材・機材を使用した。ただし、両工場の試験練り

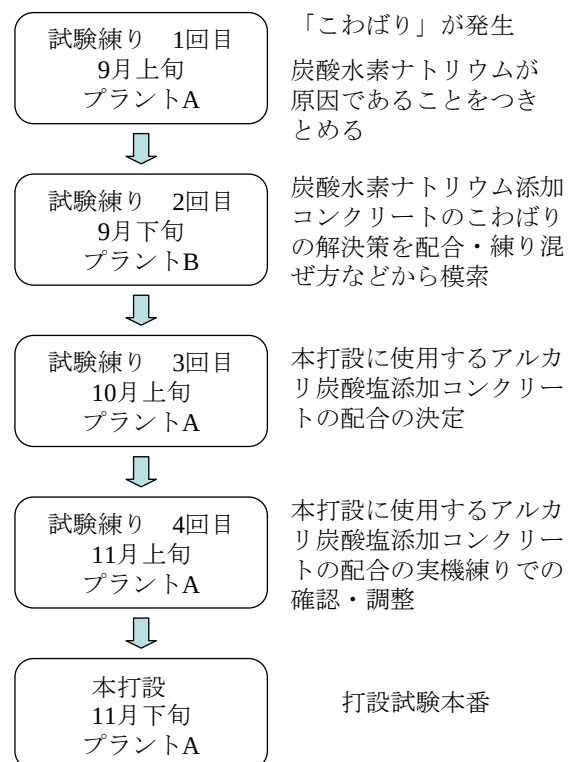


図-1 本施工までの試験練りの流れ

\*1 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 准教授 博 (工) (正会員)

\*2 東日本旅客鉄道(株) 研究開発センター フロンティアサービス研究所 博 (工) (正会員)

\*3 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部 構造技術センター (正会員)

\*4 横浜国立大学大学院 環境情報学院 環境システム学専攻 (正会員)

において強制二軸ミキサーを使用し、混和材・高性能 AE 減水剤については、同一のものを使用した。試験練り 3 回目（10 月上旬）では 1 回目と 2 回目の結果を踏まえて実機で練る配合の最終決定を行った。試験練り 4 回目（11 月上旬）は生コンプラント A の実機ミキサー（強制二軸）で行われた。練混ぜ後に、アジテータ車で打設現場まで運搬した。試験練りの結果を踏まえ、11 月下旬の打設試験において、炭酸水素ナトリウム、炭酸リチウムなどを含む 3 種類のひび割れ自己治癒コンクリートをトンネルの覆工コンクリートに打設した。

2.2 使用材料とコンクリート配合

(1) 使用材料

試験練りで使用した材料の物性値を表－1～表－5 に示す。表－1 にはセメントの物性値を示してあり、全ての配合で普通ポルトランドセメントを使用した。表－2 に混和材の物性値を示す。Ea・Eb はエトリンガイト石灰複合系であり、低添加型(標準添加量 20kg/m<sup>3</sup>)の膨張材である。Ec・Ed はエトリンガイト系であり従来型(標準添加量 30kg/m<sup>3</sup>)の膨張材である。Ee は高温で焼成した超硬焼石灰で、反応速度を抑えたものを用いた。表－3 にアルカリ炭酸塩の粒径を示す。炭酸水素ナトリウムは、粒径によってグレード T・C と分かれるものと試薬製品を使用し、粒の細かさがフレッシュ性状に与える影響を調べた。表－4 と表－5 に骨材の物性値を示す。Sa・Sc・Sd・Sf は山砂、Sb・Se・Sg は陸砂である。Ga・Gc・Gd は砂利（最大粗骨材寸法 25mm）、Gb は石灰石と硬質砂岩の比率が 3：7 のもの（最大粗骨材寸法 20mm）を使用した。高性能 AE 減水剤は全ての配合でポリカルボン酸系の同一のものを使用した。

表－1 セメントの物性値

|                          | Ca        | Cb   | Cc   | Cd   |
|--------------------------|-----------|------|------|------|
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )   | 3.16      | 3.16 | 3.16 | 3.16 |
| 比表面積(cm <sup>2</sup> /g) | 3280      | 3280 | 3320 | 3290 |
| 凝結                       | 水量(%)     | 27.3 | 27.3 | 27.3 |
|                          | 始発(h-min) | 2-19 | 2-19 | 2-18 |
|                          | 終結(h-min) | 3-31 | 3-31 | 3-26 |

表－4 細骨材物性値

|                          | Sa   | Sb   | Sc   | Sd   | Se   | Sf   | Sg   |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 表乾密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 2.67 | 2.58 | 2.63 | 2.68 | 2.58 | 2.67 | 2.58 |
| 絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 2.62 | 2.51 | 2.59 | 2.63 | 2.52 | 2.63 | 2.52 |
| 吸水率(%)                   | 1.93 | 2.45 | 1.61 | 1.90 | 2.41 | 1.88 | 2.42 |
| 微粒分量(%)                  | 1.20 | 0.90 | 0.10 | 1.30 | 0.90 | 1.50 | 0.90 |
| 粗粒率                      | 2.69 | 2.95 | 2.41 | 2.81 | 2.82 | 2.78 | 2.77 |
| 表面水率(%)                  | 1.20 | 6.40 | 0.00 | 2.40 | 1.80 | 9.50 | 5.00 |

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合を表－6 に示す。数値の後のカッコは表－1～表－5 の材料のどの種類を用いたかを示している。配合 1～8 は試験練り 1 回目、配合 9～18 は試験練り 2 回目、配合 19～24 は試験練り 3 回目、配合 25・26 は試験練り 4 回目のものである。配合 27・28 は本打設で使用した配合である。

今回、自己治癒コンクリートを試験施工した構造物において、先行する打設ブロックにおいて充填不良による不具合が生じたため、その後のコンクリートの配合が修正された。その結果、表－6 に示すように、高性能 AE 減水剤を添加した、スランプの大きくなる配合となっている。

自己治癒の際にひび割れ間に析出する結晶は、主に炭酸カルシウムであると考えている。炭酸イオンの供給元として炭酸水素ナトリウムもしくは炭酸リチウムを用い、セメントや膨張材・生石灰に含まれるカルシウムとの反応を期待している。1 回目の試験練りでは実構造物へ適用する際に剥落防止効果を期待して短繊維を使用した。2 回目以降、こわばりの原因究明をするために短繊維を入れていない。本打設においては短繊維をアジテータ車に投入し、後添加した。

2.3 試験条件

試験練り 1, 2, 3 回目では、材料を強制二軸ミキサーに全投入し、5 秒間空練り後、水を投入し 90 秒間練り混ぜる方法を基本とした。試験練り 4 回目では材料を全投入し実機で 60 秒間練り混ぜた。混和材を含むことを考慮して、その工場での通常の練混ぜ時間よりも 20 秒間

表－2 混和材物性値

|                          | Ea   | Eb   | Ec   | Ed   | Ee   |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )   | 3.12 | 3.12 | 3.11 | 3.11 | 3.34 |
| 比表面積(cm <sup>2</sup> /g) | 2890 | 2890 | 3110 | 3070 | 4210 |

表－3 アルカリ炭酸塩物性値

|        | 炭酸水素ナトリウム |       | 炭酸リチウム |    |
|--------|-----------|-------|--------|----|
|        | T         | C     | 試薬     | Li |
| 粒径(μm) | 250       | 40 以下 | 100    | 不明 |

表－5 粗骨材物性値

|                          | Ga   | Gb   | Gc   | Gd   |
|--------------------------|------|------|------|------|
| 表乾密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 2.60 | 2.71 | 2.60 | 2.60 |
| 絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 2.54 | 2.69 | 2.54 | 2.54 |
| 吸水率(%)                   | 2.37 | 0.57 | 2.37 | 2.31 |
| 実積率(%)                   | 61.5 | 58.4 | 62.1 | 61.7 |
| 微粒分量(%)                  | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 |
| 粗粒率                      | 6.95 | 6.52 | 6.82 | 6.84 |

表－6 コンクリートの配合

| 試験<br>番号 | 配合<br>番号 | 水粉<br>体比 | 水                    | セメン<br>ト | 混和材<br>(膨張成分) |      | 細骨材    |        | 粗骨材     | 高性能 AE 減<br>水剤 | アルカリ<br>炭酸塩     | 短繊維   |
|----------|----------|----------|----------------------|----------|---------------|------|--------|--------|---------|----------------|-----------------|-------|
|          |          | W/P      | W                    | C        | E             |      | S      |        | G       | Sp             | CO <sub>3</sub> | F     |
|          |          | (%)      | (kg/m <sup>3</sup> ) |          |               |      |        |        |         |                |                 |       |
| 1        | 1        | 47.3     | 175                  | 370(a)   | 0             |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 4.26           | 0               | 0     |
|          | 2        | 47.3     | 175                  | 370(a)   | 0             |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 4.26           | 0               | 0.455 |
|          | 3        | 47.3     | 175                  | 349(a)   | 20(a)         |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 4.26           | 1(T)            | 0     |
|          | 4        | 47.3     | 175                  | 349(a)   | 20(a)         |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 4.26           | 1(T)            | 0.455 |
|          | 5        | 47.3     | 175                  | 349(a)   | 20(e)         |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 4.26           | 1(T)            | 0.455 |
|          | 6        | 47.3     | 175                  | 350(a)   | 20(a)         |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 4.26           | 0               | 0.455 |
|          | 7        | 47.3     | 175                  | 349.5(a) | 20(a)         |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 4.26           | 0.5(T)          | 0.455 |
|          | 8        | 47.3     | 175                  | 349(a)   | 20(a)         |      | 324(a) | 485(b) | 920(a)  | 6.105+0.555    | 1(T)            | 0.455 |
| 2        | 9        | 47.3     | 165                  | 351(b)   | 0             |      | 855(c) |        | 959(b)  | 2.98           | 0               | 0     |
|          | 10       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 2.98           | 1(T)            | 0     |
|          | 11       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 2.98           | 1(試薬)           | 0     |
|          | 12       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 2.98           | 1(Li)           | 0     |
|          | 13       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 2.98           | 1(C)            | 0     |
|          | 14       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 1.82           | 1(T)            | 0     |
|          | 15       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 2.98           | 2(T)            | 0     |
|          | 16       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 1.82           | 1(T)            | 0     |
|          | 17       | 47.0     | 165                  | 331(b)   | 20(b)         |      | 855(c) |        | 959(b)  | 2.98           | 1(T 後添)         | 0     |
|          | 18       | 47.1     | 165                  | 330(b)   | 20(b)         |      | 792(c) |        | 1043(b) | 3.30(AE)       | 1(T)            | 0     |
| 3        | 19       | 47.3     | 175                  | 370(c)   | 0             |      | 324(d) | 485(e) | 920(c)  | 4.26           | 0               | 0     |
|          | 20       | 47.3     | 175                  | 344(c)   | 20(c)         | 5(e) | 324(d) | 485(e) | 920(c)  | 7.03           | 1(T)            | 0     |
|          | 21       | 47.3     | 175                  | 343(c)   | 20(c)         | 5(e) | 324(d) | 485(e) | 920(c)  | 4.26           | 2(Li)           | 0     |
|          | 22       | 47.3     | 175                  | 344(c)   | 20(c)         | 5(e) | 324(d) | 485(e) | 920(c)  | 4.26           | 1(T)            | 0     |
|          | 23       | 50.0     | 185                  | 344(c)   | 20(c)         | 5(e) | 319(d) | 479(e) | 906(c)  | 4.26           | 1(T)            | 0     |
|          | 24       | 47.3     | 175                  | 349(c)   | 20(a)         |      | 324(d) | 485(e) | 920(c)  | 4.26           | 1(T)            | 0     |
| 4        | 25       | 47.3     | 175                  | 343(d)   | 20(d)         | 5(e) | 324(f) | 485(g) | 920(d)  | 4.26           | 2(Li)           | 0     |
|          | 26       | 50.0     | 185                  | 344(d)   | 20(d)         | 5(e) | 319(f) | 479(g) | 906(d)  | 4.26           | 1(T)            | 0     |
| 本<br>番   | 27       | 47.3     | 175                  | 343(d)   | 20(d)         | 5(e) | 324(f) | 485(g) | 920(d)  | 4.26           | 2(Li)           | 0.455 |
|          | 28       | 50.0     | 185                  | 344(d)   | 20(d)         | 5(e) | 319(f) | 479(g) | 906(d)  | 3.33           | 1(T)            | 0.455 |

長くした。

配合 8 では、高性能 AE 減水剤 0.555kg/m<sup>3</sup> をコンクリートが練りあがった後で添加した。配合 16 では、練り混ぜ水を分割した。一次水として全水量の 8 割を入れ 60 秒間練り混ぜた後、二次水として残りの 2 割を入れ 30 秒間秒練り混ぜた。配合 17 では、コンクリートが練り混ぜた後 5 分間静置し、後で炭酸水素ナトリウムを添加し 30 秒間練り混ぜた。配合 18 では、混和剤に AE 減水剤を使用した。

試験練りを行った時の細骨材の表面水率を表－4 に示す。プラントでは表面水率を 1 日 2 回定期的に計測している。粗骨材は表乾状態に管理したものを使用した。配

合 27 と配合 28 に用いた砂は表－4 と表－6 に示したように Sf と Sg を使用している。しかし表面水率は変化しており、配合 27 を練混ぜた際は Sf と Sg についてそれぞれ 8.7%、4.2%、配合 28 を練混ぜた際はそれぞれ 9.0%、4.5%であった。

### 3. 試験結果と考察

表－7 にフレッシュ性状試験の結果を示す。試験項目はスランブ試験(JIS A 1101)、空気量測定(JIS A 1128)、コンクリート温度測定(JIS A 1156)である。コンクリートの練りあがり直後・30 分後・60 分後で行った。30 分後・60 分後のコンクリートはミキサーから排出後に平たい

表-7 フレッシュ性状試験結果

|                | No. | スランプ (cm) |        |        | 空気量 (%) |       |       | コンクリート温度 (°C) |       |       |
|----------------|-----|-----------|--------|--------|---------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                |     | 直後        | 30 分後  | 60 分後  | 直後      | 30 分後 | 60 分後 | 直後            | 30 分後 | 60 分後 |
| 1 回目<br>(9 月)  | 1   | 21.0      | 19.5   | 10.5   | 4.4     | 5.0   | 4.6   | 25            | 25    | 25    |
|                | 2   | 20.5      | 16.0   | 8.0    | 4.0     | 3.5   | 4.0   | 26            | 25    | 25    |
|                | 3   | 16.5      | (10.0) | (8.0)  | 4.9     | (4.0) | (4.1) | 26            | 26    | 26    |
|                | 4   | 8.0       | (7.0)  | (7.0)  | 5.6     | (4.3) | (4.4) | 26            | 25    | 26    |
|                | 5   | 18.0      | (10.0) | (9.5)  | 6.1     | (4.6) | (5.3) | 27            | 26    | 25    |
|                | 6   | 21.0      | 19.0   | 14.5   | 7.1     | 6.3   | 5.6   | 25            | 25    | 25    |
|                | 7   | 8.0       | (5.0)  | —      | 7.0     | (5.6) | —     | 25            | 25    | —     |
|                | 8   | 19.5      | 19.0   | —      | 3.6     | 3.4   | —     | 25            | 25    | —     |
| 2 回目<br>(9 月)  | 9   | 23.0      | 22.0   | 20.5   | 4.5     | —     | —     | 25            | 25    | 25    |
|                | 10  | 20.0      | 20.5   | 19.5   | 3.7     | —     | 6.0   | 26            | 25    | 25    |
|                | 11  | 23.0      | 23.0   | 22.0   | 5.8     | —     | 6.5   | 25            | 25    | 25    |
|                | 12  | —         | 22.0   | 21.5   | 4.3     | —     | 6.8   | 25            | 25    | 25    |
|                | 13  | —         | 20.0   | 19.5   | 3.8     | —     | —     | 25            | 25    | 25    |
|                | 14  | 20.5      | (16.0) | (15.0) | 5.3     | —     | (6.9) | 25            | 25    | 25    |
|                | 15  | 21.5      | (13.5) | (15.0) | 4.6     | —     | —     | 25            | —     | —     |
|                | 16  | 18.0      | (12.0) | (11.0) | 2.0     | —     | —     | 25            | 25    | 25    |
|                | 17  | 12.0      | (12.5) | (12.0) | 6.0     | —     | —     | 25            | 25    | 25    |
| 3 回目<br>(10 月) | 18  | 17.0      | (14.0) | (14.0) | 5.5     | —     | —     | 25            | 25    | 25    |
|                | 19  | 21.0      | 20.5   | 15.5   | 4.6     | —     | —     | 21            | —     | —     |
|                | 20  | 21.0      | 23.5   | 23.0   | 2.2     | —     | —     | 21            | —     | —     |
|                | 21  | 21.0      | 19.5   | 17.5   | 4.5     | —     | —     | 21            | —     | —     |
|                | 22  | 21.0      | 14.5   | —      | 3.5     | —     | —     | 21            | —     | —     |
|                | 23  | 23.0      | 19.0   | 21.0   | 3.2     | —     | —     | 21            | —     | —     |
| 4 回目<br>(11 月) | 24  | 22.0      | 15.5   | —      | 3.7     | —     | —     | 21            | —     | —     |
|                | 25  | 22.0      | 21.5   | 21.0   | 5.6     | 5.0   | 4.9   | 19            | 20    | 21    |
| 本番<br>(11 月)   | 26  | 23.5      | 23.0   | 23.0   | 3.7     | 3.7   | 4.1   | 20            | 20    | 20    |
|                | 27  | 21.5      | —      | —      | 5.6     | —     | —     | 16            | —     | —     |
|                | 28  | 20.5      | —      | —      | 5.5     | —     | —     | 16            | —     | —     |

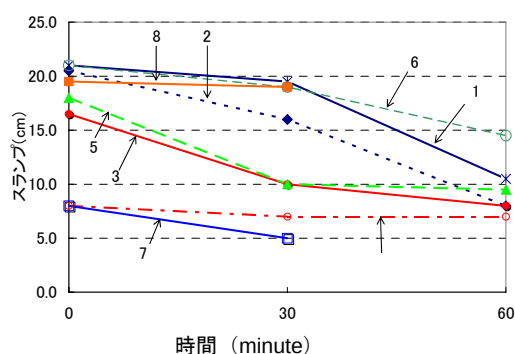


図-2 試験練り 1 回目スランプ経時変化

バケット内で静置したものから採取した。

炭酸水素ナトリウムを混和したコンクリートの中で練り混ぜ直後か 30 分後にこわばりを示したものがあつた。30 分後にこわばりを示したコンクリートはスコップで切り返した後でフレッシュ性状を計測した。切り返し

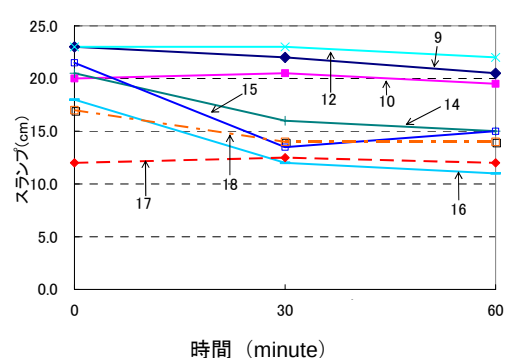


図-3 試験練り 2 回目スランプ経時変化

を行った直後はこわばりがなくなりスランプが大きく回復した。表-7 に示すカッコ内の値は切り返した直後のスランプ、空気量の値で、プラントによって切り返し方が異なるので参考程度の値である。

配合 12 と配合 13 については、練り混ぜ直後の流動性

が大きかったため、スランブを計測できなかった。

表中で値のない個所では、計測を行っていない。

### 3.1 アルカリ炭酸塩を混和したコンクリート

#### (1) 炭酸水素ナトリウム混和コンクリートのこわばり

図-2～図-4 に試験練り 1～3 回目のスランブの経時変化を示す。

図-2 で炭酸水素ナトリウムを混和した配合 3, 4, 5, 7 のコンクリートのスランブが著しく低下している。これらは、練混ぜ後数分で著しいこわばりを示した。炭酸水素ナトリウムを含まずに混和材として膨張材のみを含む配合 6 で良好なフレッシュ性状を示したことから、こわばりの主要因は炭酸水素ナトリウムであると考えた。

配合 8 は炭酸水素ナトリウムが混和された配合であるが、練混ぜ後 30 分まで良好なフレッシュ性状を示した。最初の練混ぜ後には若干こわばっていたが、高性能 AE 減水剤を追加で後添加すると、こわばりはなくなりフレッシュ性状が良好になった。配合 8 では高性能 AE 減水剤を他の配合より多く添加している。炭酸水素ナトリウム混和コンクリートのこわばりは高性能 AE 減水剤の量もしくは添加方法で改善できることがわかった。

表-7 において、配合 10, 11, 13 のフレッシュ性状について差がほとんどなく、試験練り 2 回目に行った配合では炭酸水素ナトリウムの粒の細かさがフレッシュ性状に与える影響は見られなかった。

図-3 の配合 16 や配合 17 では著しいこわばりを示した。2.3 で説明したように、ほぼ同配合の配合 14 に対して、練り混ぜ方法を変えたものである。配合 14 はこわばりを示した。1 次水と 2 次水に分けた分割練りや、炭酸水素ナトリウムを後添加することにより、フレッシュ性状はむしろ悪くなった。

図-3 において、高性能 AE 減水剤の代わりに AE 減水剤を用いた配合 18 においても、こわばりが生じている。こわばりは、高性能 AE 減水剤を使用した系に特有の現象ではないことを確認した。

図-4 に、単位水量を  $185\text{kg/m}^3$  に増やした配合 23 のスランブの経過を示す。配合 22 と配合 24 に比べ、スランブ低下が少なく、単位水量の調整によって炭酸水素ナトリウム混和コンクリートのこわばりを抑えられることがわかった。

これらのコンクリートのこわばりは、炭酸水素ナトリウムが練混ぜ水に溶解し、ペーストの凝結を促進したものであると考えている<sup>4)</sup>。

#### (2) アルカリ炭酸塩の種類による違い

配合 21 の結果より、炭酸リチウムを混和したコンクリートにはこわばりは生じず、フレッシュ性状の低下は見られなかった。水和を促進するアルカリ炭酸塩はカリ

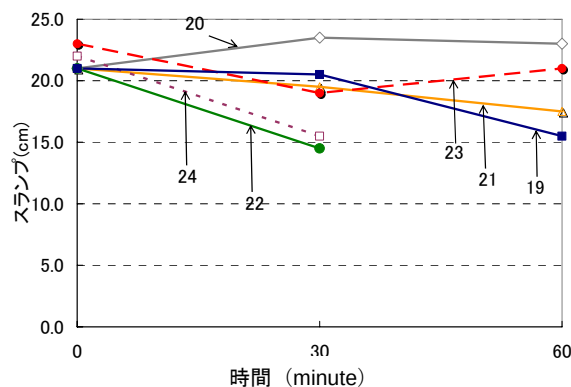


図-4 試験練り 3 回目のスランブ経時変化

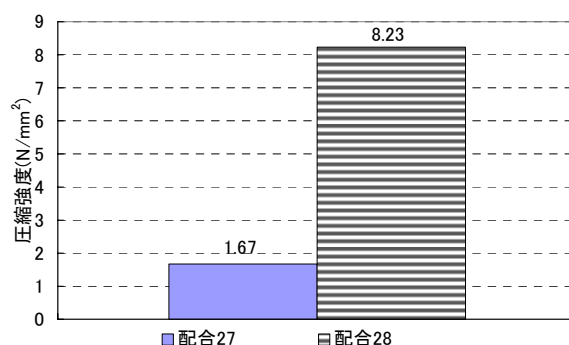


図-5 アルカリ炭酸塩混和コンクリートの材齢 18 時間後の圧縮強度 (本打設)

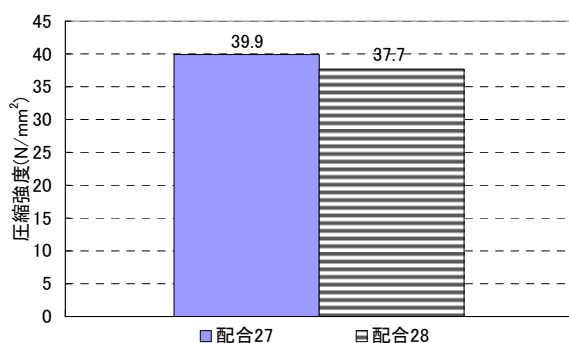


図-6 アルカリ炭酸塩混和コンクリートの材齢 28 日後の圧縮強度 (本打設)

ウム>ナトリウム>リチウムの順に影響が大きいと言われている<sup>4)</sup>。アルカリ炭酸塩の種類より添加量の影響が大きいとしている文献もある<sup>5)</sup>。配合 21 は炭酸リチウムを  $2.0\text{kg/m}^3$  混和しているにもかかわらず、炭酸水素ナトリウム  $1.0\text{kg/m}^3$  混和した配合 23 と比べ、フレッシュ性状への影響はほとんど見られなかった。

図-5 に本打設時のコンクリート配合 27・28 の打ち込み後 18 時間後の圧縮強度、図-6 に打ち込み後 28 日後の圧縮強度を示す。図-5 の配合 27 は  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  の円柱供試体 2 本の圧縮強度の平均値、配合 28 は円柱供試体 1 本の値、図-6 の圧縮強度はそれぞれ円柱供試体 3 本の平均値である。

図-6 で配合 27 と配合 28 の圧縮強度はほぼ同じであ

るのかかわらず、図-5で材齢が18時間というごく初期の場合、配合28が配合27の4倍ほどの強度を示していることがわかる。これは配合27に混和されている炭酸リチウムより配合28に混和されている炭酸水素ナトリウムの凝結促進効果が大きいためであると考えている。

今回の試験においてはアルカリ炭酸塩がコンクリートの水和に与える影響は、アルカリ炭酸塩の量より種類の方が大きいという結果になった。

### (3) 練返しによるフレッシュ性状の回復

試験練り1回目と2回目を行った際に、炭酸水素ナトリウムを混和したコンクリートのこわばりはスコップの切り返しなどのエネルギーを加えることで回復することを確認していた。そこで3回目の試験練りでは30分後のスランブ試験時には意図的に切り返しを行わなかった。図-4から炭酸水素ナトリウムを混和した配合20, 22, 23, 24は配合20を除いて30分後にはスランブが低下している。配合23は単位水量を増やしこわばりを抑えている。30分後にややスランブが低下したが、60分後に切り返しを行ったところ、スランブが回復した。

炭酸水素ナトリウムを混和する場合、配合上の工夫でこわばりを抑制する必要があるのは当然であるが、実際の打設においては、アジテータ車の高速攪拌によってある程度のこわばりは解消されるであろう。

### 3.2 異なるプラントにおけるフレッシュ性状の違い

1回目と2回目の試験練りは異なるプラントで行われた。炭酸水素ナトリウムによるこわばりが、2プラントで相当に異なった。1回目のプラントでは $0.5\text{kg/m}^3$ の混和でもこわばりを生じたのに対し、2回目のプラントではこわばりを発生させるのに必要な炭酸水素ナトリウムの量はかなり多かった。混和材を含まないベースコンクリートで同程度のフレッシュ性状を得るのに必要な単位水量、高性能AE減水剤の量が両プラントで大きく異なった。2回目の試験練りを行ったプラントの方が、フレッシュ性状の観点からは細骨材の物性が良く、炭酸水素ナトリウムの悪影響が表れにくかったものと考えている。

### 3.3 実構造物に打設する際の配合の考え方

1回目から3回目の試験練り（配合1～24）の結果を踏まえ、炭酸水素ナトリウムを混和する際は、過剰な高性能AE減水剤の添加を避け、単位水量を $10\text{kg/m}^3$ 増加することにより対処することとした。

炭酸リチウムを混和する際は、今回の配合ではフレッシュ性状への影響は無いものとして配合の修正は行わないこととした。

これらの対処を基本として、第4回目の実機ミキサーでの試験練りを経て、打設試験を行った。同じ配合を用

いて、実構造物のトンネル覆工コンクリートに自己治癒コンクリートを打設した。合成短繊維を後添加した後も、フレッシュ性状は良好であり、無事に打設が可能であった。

## 4. まとめ

ひび割れ自己治癒コンクリートを実構造物へ適用することを目的として、アルカリ炭酸塩を含むコンクリートのフレッシュ性状試験を行った結果、本報告で設定した配合・使用材料の範囲内で、以下の知見を得た。

(1) 炭酸水素ナトリウムを混和したコンクリートでは、凝結が促進されたものによると思われる著しいこわばりが生じた。こわばりは、高性能AE減水剤の量を増やすこと・後添加で追加することや、単位水量の増加で防ぐことができた。同程度のフレッシュ性状を有するコンクリートでも、使用する骨材、セメントが異なる場合、こわばりを生じる炭酸水素ナトリウムの量は大きく変動した。

(2) 炭酸リチウムを混和することは、本報告の範囲内ではコンクリートのフレッシュ性状に悪影響を及ぼさなかった。

(3) 材齢18時間の超若材齢において、炭酸水素ナトリウムを混和したコンクリートは圧縮強度の発現が促進された。

謝辞：本研究の実施に際して、池野誠司氏（JR 東日本）、田附伸一氏（JR 東日本）、岸利治准教授（東京大学生産技術研究所）、野尻拓男氏（住友大阪セメント）との議論が大変参考になりました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 下村哲雄，細田 暁，岸 利治：低水粉体比コンクリートのひび割れ自己治癒性能，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.661-666，2001
- 2) 山田啓介ほか：膨張材を用いたコンクリートのひび割れ自己治癒効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.261-266，2007
- 3) 平野勝彦ほか：水分供給条件や膨張作用の有無がひび割れ自己治癒効果に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.267-272，2007
- 4) Singh, N. B. and Dwivedi, M. P.: Effect of alkali carbonates  $\text{M}_2\text{CO}_3$  on the hydration of portland cement, *Cement*, Vol.85, No.4, pp.259-266, 1988
- 5) Valenti, G. L. and Sabatelli, V.: The influence of alkali carbonates on the setting and hardening of portland and pozzolanic cement, *Silic.Ind.*, Vol.45, No.12, pp.237-242, 1980