

低発熱低収縮型普通ポルトランドセメントのひび割れ低減に関する検討

太平洋セメント(株)

正会員

○田中

秀和

同上

正会員

橋本

真幸

同上

非会員

牧

隆輝

同上

正会員

辻

伸幸

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の安全性に対する社会的な関心は年々高まり、耐久性確保の観点からコンクリートのひび割れ低減が求められている。ここで一般的な土木構造物において、高炉セメントを用いる機会が増えてきているが、使用時期や施工条件によってひび割れ発生するという報告もある。<sup>1)</sup>

本稿では、普通ポルトランドセメント(以下 N)の JIS 規格の品質を満足しつつ、水和熱と収縮を低減させたセメントを試製し、その収縮抑制に伴うひび割れ低減効果について他セメントと比較検討を行った。

2. 試験概要

低発熱低収縮型 N(以下 NL)の発熱特性と収縮特性を評価するために、簡易断熱養生したマス試験体の断熱温度上昇および収縮特性を用いて温度応力解析を行い、NL のひび割れ指数を他セメントと比較した。試験に用いたコンクリートはスランブ 12cm、空気量 4.5%、練上り温度 20℃であり、これを厚さ 200mm の断熱材で囲んだ 450mm 立方体の型枠に打設し、コンクリート中心部のひずみと中心温度、側面温度および外気温を測定した(図 1)。次に、中心部の温度履歴から放熱特性を考慮して、断熱温度上昇量を推定した。さらに、この断熱温度上昇量と温度ひずみを差引いたひずみを用いて温度応力解析を行った。

NL の特性を表 1 に示す。NL はセメント圧縮強さが N の 80%程度であるが、水和熱が 10%程度低いことを特長とするセメントである。圧縮強さも含めて、N の JIS 規格をすべて満足している。

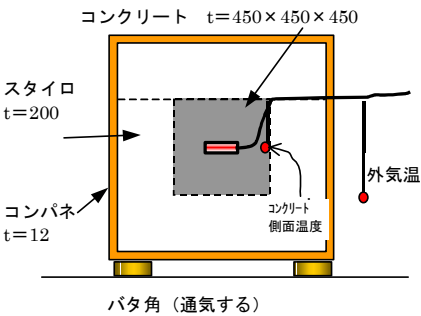


図 1 簡易断熱試験装置

表 1 低発熱低収縮型普通ポルトランドの特性

| セメント種類 | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 比表面積(cm <sup>2</sup> /g) | 凝結(h-m) |      | 圧縮強さ(N/mm <sup>2</sup> ) |       |       | 水和熱(J/g) |      | MgO(%) | SO <sub>3</sub> (%) | 強熱減量(%) | 全アルカリ(%) | 塩化物イオン(%) |
|--------|------------------------|--------------------------|---------|------|--------------------------|-------|-------|----------|------|--------|---------------------|---------|----------|-----------|
|        |                        |                          | 始発      | 終結   | 3 日                      | 7 日   | 28 日  | 7 日      | 28 日 |        |                     |         |          |           |
| NL1    | 3.17                   | 3260                     | 2-15    | 3-40 | 25.2                     | 38.2  | 50.5  | 299      | 346  | 1.04   | 2.02                | 2.42    | 0.51     | 0.018     |
| N      | 3.16                   | 3290                     | 2-18    | 3-25 | 30.4                     | 45.6  | 62.1  | 325      | 380  | 0.94   | 2.01                | 2.44    | 0.46     | 0.017     |
| JIS 規格 | —                      | 2500<                    | 60m<    | <10h | 12.5<                    | 22.5< | 42.5< | —        | —    | <5.0   | <3.0                | <3.0    | <0.75    | <0.035    |

3. 試験結果

表 2 に試験に用いたセメントのブレンと SO<sub>3</sub> 量およびコンクリートの凝結と圧縮強度試験結果を示す。

表 2 に示すとおり、試製セメントには上記 NL1 と SO<sub>3</sub> 量を増量した NL2 の 2 水準、比較用として N、中庸熱ポルトランドセメント(以下 M)、高炉セメント B 種(以下 BB)および収縮抑制型 BB(以下 LBB)を用いた。NL を用いたコンクリートの凝結時間は N に比べて 30～60 分長く、BB より若干短い。また、圧縮強度は N の 70～80%程度であり、BB と比べると 7 日で同等、28 日で 80%程度である。

図 2 に簡易断熱試験で測定した温度履歴を、図 3 に温度履歴より推定した断熱温度上昇曲線を、表 3 に断熱温度上昇係数とひび割れ指数をそれぞれ示す。

キーワード: マスコンクリート, 断熱温度上昇, 自己収縮, ひび割れ, 普通ポルトランドセメント

連絡先: 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 CS チーム TEL043-498-3837

図2より, NL の中心温度は N や BB より4℃程度低く, 14 日ごろまで温度差が見られた. ピーク温度は LBB や M より1℃高いが, 4 日以降は, ほぼ同様の温度履歴を示した. また, NL の温度上昇ピークは N と同程度であり, BB や LBB, M より早い傾向が見られた.

図3および表3より, NL の終局断熱温度上昇量は N および BB より10℃程度低く, NL に温度低減効果があることが確認できた. 一方, NL と M および LBB の終局断熱温度上昇量には, ほとんど差が認められないものの, 温度上昇速度係数は NL の方が大きかった.

図4に温度ひずみを差引いた膨張収縮ひずみを示す. 図4より, NL1 の収縮ひずみは N より30μ程度小さく, M と同程度である. また, SO<sub>3</sub> 量を増量した NL2 では, 初期の膨張ひずみは NL1 より大きく, 材齢28日では LBB とほぼ同程度の収縮ひずみとなった. 高炉スラグ微粉末を混入している LBB や BB は材齢5日以降の収縮量が小さくなっており, 水和反応により生成される微細なゲル空隙の増加に伴い, 収縮量が増大したものと推察される.

上述の断熱温度上昇量とひずみの測定結果を用い, 厚さ3m×長さ20m×幅14mのマットスラブを対象として, FEM 温度応力解析を行った. 解析より得られたひび割れ指数を表3に示す.

ひずみを考慮せずに解析した場合, NL のひび割れ指数は N および BB よりは大きくなり, ひび割れ低減効果が確認されたが, M および LBB に比べ, ひび割れ指数は小さかった. しかし, ひずみを考慮することによって, NL のひび割れ指数は LBB より大きくなり, ひび割れの低減効果は LBB と同程度であることが判明した.

#### 4.まとめ

普通ポルトランドセメントの JIS 規格を満足しながら, 発熱および収縮を抑制できるセメントの特性を明らかにした.

- 1) NL 断熱温度上昇量と収縮ひずみは N や BB に比べて小さい.
- 2) NL の温度ひび割れ低減効果は LBB と同程度である.

温度ひびわれが顕在化しつつある構造物に, こうしたセメントが有効に利用されることが期待される.

#### 参考文献

- 1) 実構造物で行った“ひび割れ実験”, 日経コンストラクション, p66-69, 2006.4
- 2) 大友健 他, 鋼管・コンクリート複合構造橋脚における温度ひび割れの発生機構とその評価方法に関する研究, コンクリート工学論文集, vol13-3, 2002.9

表2 各種コンクリートの凝結および圧縮強度(W/C55%)

| セメント<br>種類 | ブレン<br>(cm <sup>2</sup> /g) | SO <sub>3</sub><br>(%) | 凝結(h-m) |       | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) |      |
|------------|-----------------------------|------------------------|---------|-------|--------------------------|------|
|            |                             |                        | 始発      | 終結    | 7 日                      | 28 日 |
| NL1        | 3260                        | 2.0                    | 6-35    | 9-10  | 19.5                     | 30.5 |
| NL2        | 3310                        | 2.6                    | 6-20    | 9-00  | 17.8                     | 28.4 |
| N          | 3290                        | 2.0                    | 5-55    | 8-20  | 26.7                     | 39.7 |
| BB         | 3730                        | 2.2                    | 6-55    | 10-00 | 18.4                     | 38.0 |
| M          | 3180                        | 2.3                    | 6-50    | 9-30  | 14.9                     | 34.4 |
| LBB        | 3320                        | 3.9                    | 9-15    | 13-45 | 11.6                     | 23.5 |

表3 温度上昇量とひび割れ指数

| セメント<br>種類 | 最高<br>温度(℃) | 終局断熱温<br>度上昇量 K | 温度上昇速<br>度係数 α | ひび割れ指数 |      |
|------------|-------------|-----------------|----------------|--------|------|
|            |             |                 |                | 歪考慮無   | 歪考慮有 |
| NL1        | 58.1        | 38.9            | 1.00           | 1.12   | 1.12 |
| NL2        | 57.2        | 37.9            | 1.05           | 1.14   | 1.14 |
| N          | 66.3        | 47.1            | 1.07           | 0.91   | 0.91 |
| BB         | 66.6        | 49.3            | 0.69           | 0.96   | 0.51 |
| M          | 56.6        | 37.6            | 0.92           | 1.17   | 1.17 |
| LBB        | 55.5        | 37.5            | 0.69           | 1.24   | 1.09 |

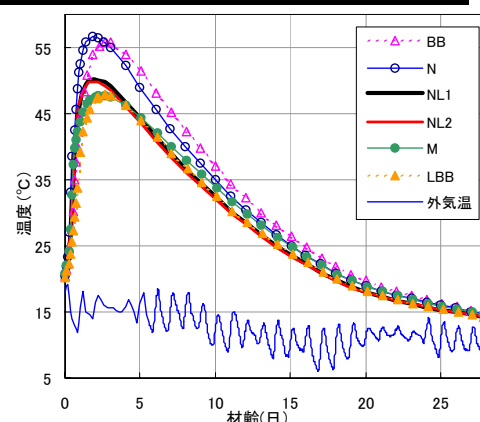


図2 簡易断熱中心温度と外気温

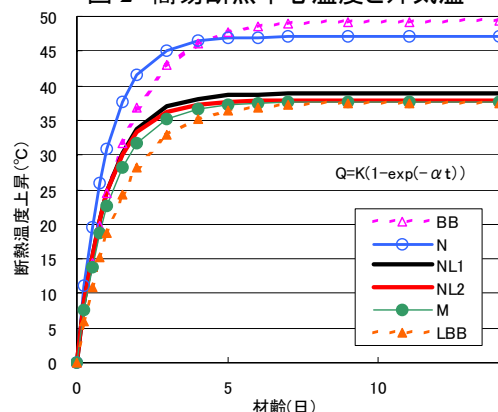


図3 推定した断熱温度上昇曲線 (C=300kg/m<sup>3</sup>)

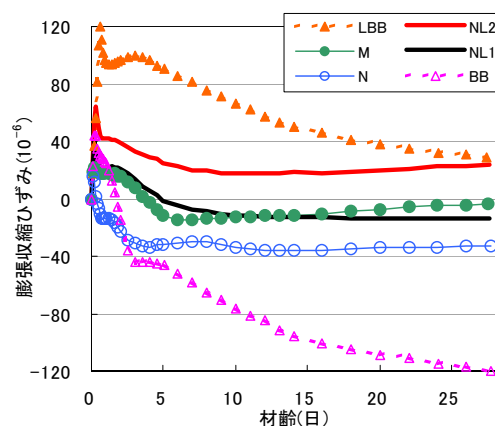


図4 膨張収縮ひずみ(+ : 膨張, - : 収縮)