

# 早期交通開放型コンクリート舗装(1 DAY PAVE)の 試験施工および曲げ強度と積算温度の関係

○里川 学\*1 山内 和宏\*1 岩内 正樹\*1 北川 昭義\*1 永渕 和光\*1

**要旨:** 早期交通開放型コンクリート舗装(1DAY PAVE)が世に出て10年余り, 新技術情報提供システム(NETIS)にも登録されているが, 滋賀県内ではあまり普及していないのが現状である。同県生コンクリート工業組合では, 1DAY PAVEの実証実験として, 令和3年10月に試験施工の見学会を実施した。加えて, 年間を通じた施工を想定し4シーズンに区分した室内試験を実施した。その結果, 酷寒期を除いた標準期, 酷暑期および冬期において, 供試体の曲げ強度は Maturity 則に従うことが確認され, 供試体の受ける積算温度で 1DAY PAVE の曲げ強度を推定することが可能となった。

**キーワード:** 1DAY PAVE, 早期交通開放, コンクリート舗装, 開放強度, 曲げ強度, 積算温度

## 1. はじめに

滋賀県においてコンクリート舗装の実績は非常に少なく県道においては1%程度である。認知度の低い技術を設計に取り組むことは容易ではない。この現状を認識した上で, 舗装分野に参入すべく 1DAY PAVE をテーマに取り上げ, 滋賀県生コンクリート工業組合(以下滋賀工組)主催で試験施工を実施した。1DAY PAVE を身近に感じてもらうためには開放強度発現時期を時間的な区切りで調べる必要があると考え, 熱電対による温度計測を行いながら標準期, 酷暑期, 冬期および酷寒期に区分してコンクリートの特性や優位性を検証していくことにした。

## 2. 各工場の 1DAY PAVE 配合

滋賀工組では夏期配合の作製を全18工場で実施した。指示事項として水セメント比(以下W/C)35%を中心に曲げ強度値を探り決定する。目標スランプは18cm, 単位水量は $165\text{kg/m}^3$ 程度とし, かさ容積法でワーカビリティを十分考慮する。かさ容積は概ね $600\text{L/m}^3\sim 650\text{L/m}^3$ の範囲から選定し, 曲げ強度が24時間で現場養生 $3.5\text{N/mm}^2$ 以上の配合とした。各工場の配合一覧を表-2.1に示す。全18工場の内, 16工場がW/C:35%, 単位水量は $162\text{kg/m}^3\sim 170\text{kg/m}^3$ の範囲, かさ容積は $590\text{L/m}^3\sim 645\text{L/m}^3$ の範囲であった。骨材の種類は山砂, 砕砂, 砕石以外に川砂や川砂利が使用されている工場もある。

図-2.1に材齢24時間後の曲げ強度結果を示す。曲げ強度は $4.39\text{N/mm}^2\sim 7.28\text{N/mm}^2$ の範囲にあり, 1DAY PAVEの

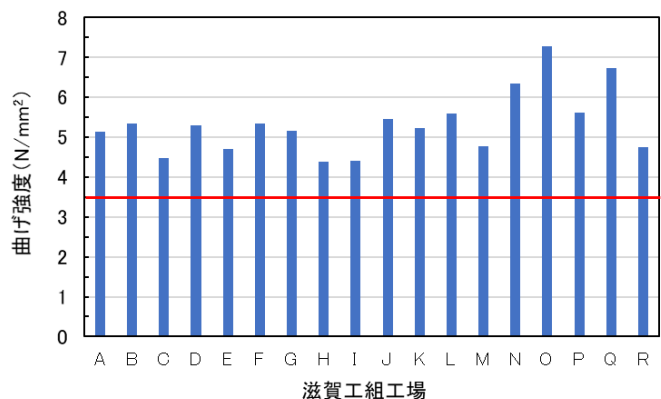


図-2.1 全工場の24時間曲げ強度結果

\*1 滋賀県生コンクリート工業組合 技術委員

表-2.1 1DAY PAVE の各工場の配合一覧

組合工場	W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				骨材種類		実積率 (%)	かさ容積 (L/m <sup>3</sup> )	Ad. (kg/m <sup>3</sup> )	24H 曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )
			W	C	S	G	細骨材	粗骨材				
A	35.0	45.2	165	471	752	940	山砂・砕砂	砕石	58.5	600	3.30	5.13
B	35.0	43.9	170	486	738	943	砕砂	砕石	59.0	598	4.37	5.33
C	35.0	40.5	170	486	648	1001	山砂・砕砂	砕石	59.0	635	3.89	4.47
D	35.0	44.2	168	480	728	942	山砂・砕砂	砕石	60.0	590	4.32	5.29
E	35.0	43.8	165	471	724	958	山砂・砕砂	砕石	59.0	610	4.00	4.69
F	35.0	41.5	165	471	731	968	砕砂	砕石	60.0	616	4.00	5.33
G	35.0	42.3	165	471	715	993	川砂・砕砂	砕石	61.0	605	2.83	5.16
H	35.0	41.6	165	471	711	994	砕砂	砕石	59.0	645	4.24	4.39
I	36.0	40.7	162	450	700	1028	砕砂	砕石	60.0	635	4.50	4.41
J	35.0	44.7	165	471	744	949	山砂・砕砂	砕石	59.0	600	3.53	5.46
K	35.0	44.2	165	472	776	1035	砕砂	砕石	59.5	600	3.30	5.22
L	35.0	40.0	165	471	676	1018	川砂・砕砂	川砂利・砕石	64.0	600	3.30	5.58
M	33.0	37.6	165	500	621	1049	川砂・砕砂	川砂利・砕石	60.5	650	3.00	4.76
N	35.0	43.8	165	471	740	967	川砂・砕砂	川砂利・砕石	60.0	600	2.83	6.33
O	35.0	43.8	165	471	737	967	川砂・砕砂	砕石	60.0	600	3.06	7.28
P	35.0	45.0	170	472	735	942	川砂・砕砂	砕石	60.0	590	2.83	5.60
Q	35.0	43.7	165	472	733	970	川砂・砕砂	砕石	60.0	600	4.72	6.73
R	35.0	42.8	165	471	714	956	川砂・砕砂	川砂利	61.0	600	3.30	4.74

注) A: 信楽生コン(株), セメント: 早強ポルトランドセメント, Ad.: 高性能 AE 減水剤 標準形 I 種

目標値を満足する結果となった。これにより、各工場が出荷対応に向けて 1DAY PAVE の製造が可能であることを確認した。

### 3. 1DAY PAVE の試験施工

#### 3.1 コンクリート配合の検討と練混ぜ時間の決定

試験施工場所となった信楽生コン(株)は、高速道路会社が発注する新名神高速道路工事において W/C:35%, 早強ポルトランドセメント, 高性能 AE 減水剤の配合実績があることに加え, 1DAY PAVE が W/C:35%を中心に施工されていることから, 標準配合を W/C:35%とし, 酷暑期及び酷寒期を考慮して W/C:32%, W/C:38%および W/C:41%の 4 配合を準備して実験に備えた。目標スランプは 18cm とし, フレッシュ性状は良好なワーカビリティを重視し, 室内での練混ぜ時間はモルタル 90 秒, 粗骨材を投入して 120 秒とした。実機試験においても 120 秒で負荷値も落ち着き安定した状態で出荷できることを確認した。表-3.1 にコンクリート配合と練混ぜ方法および試験項目を示す。図-3.1 に各 W/C と曲げおよび圧縮強度の関係を示す。

図より, 試験施工の W/C を 35%に決定した。事前の実機試験では, 60 分までフレッシュコンクリートの経時変化試験を行ったが, 外気温が 31°Cであるにも関わらずコンクリート性状は良好であった。(表-3.2)

表-3.2 実機試験のフレッシュ性状

経時 (分)	SL (cm)	Air (%)	C.T (°C)	外気 (°C)
直後	20.0	5.5	29	31
30	20.0	5.4	29	31
60	19.5	4.9	30	31

表-3.1 コンクリート配合

目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )					
				W	C	S1 (山砂)	S2* (砕砂)	G1 (1505)	G2 (2010)
18±2.5	4.5±1.5	41.0	47.0	165	402	559	250	423	517
		38.0	46.1	165	434	540	241	423	517
		35.0	45.2	165	471	520	232	423	517
		32.0	43.8	165	516	493	220	423	517

練混ぜ方法: 1/2S+C+1/2S→空練り 15s→W+Ad.→90s→G→120s→排出 \* 石灰砕砂  
 ミキサ: 可変式強制練りミキサ水平 2 軸形 (公称 60L, 50L 練)  
 試験項目: スランプ、空気量、コンクリート温度、環境温度履歴、模擬体温度履歴、供試体温度履歴、曲げ強度 (10×10×40cm), 圧縮強度 (10φ×20cm)

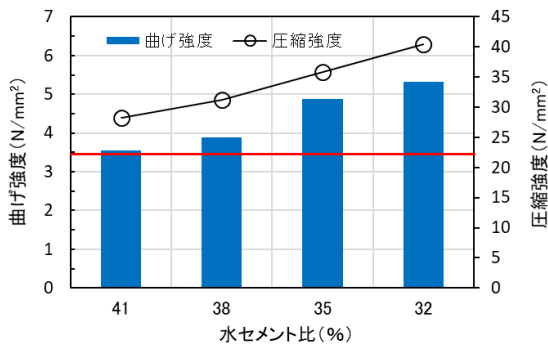


図-3.1 各水セメント比の24時間強度

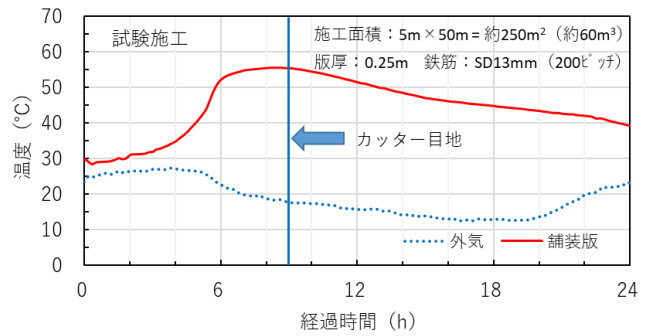


図-3.2 舗装版と外気温の温度履歴(24時間)

### 3.2 試験施工見学会

試験施工見学会時のフレッシュ性状はスランプ 19.0cm, 空気量, 4.9%, 打設温度 25°Cと良好で, 24時間後の曲げ強度は 4.92N/mm<sup>2</sup>であった。図-3.2 に経過 24 時間の舗装版と外気温の温度履歴を示す。経過 8 時間後には舗装版の最高温度が約 55°Cになった。収縮時のひび割れに対応するため, カッター目地は文献 1)を参考にゴルフボールが地上 1mからの跳ね返り高さが 60cmを超えた打設後 9 時間で行った。

## 4. 1DAY PAVE の室内試験

### 4.1 実験概要

1DAY PAVE は W/C が小さく, 早強ポルトランドセメントを使用することにより水和, つまり温度上昇が早く発熱量の大きいコンクリートで, 曲げ強度を時間毎に追跡することでその特性を的確に捉えることができると考えた。水和反応と発熱量及び強度増進は一連の現象であり, 表-4.1 に示す 4 シーズンに区分して開放強度の発現時を求めた。

表-4.1 各シーズンの試験区分

W/C (%)	酷暑期	標準期	冬期	酷寒期
32	—	○	○	○
35	○	○	○	○
38	○	○	○	○
41	○	—	—	—

### 4.2 模擬体, 供試体および外気温の計測

積算温度を測定するため, 曲げ供試体 (100×100×400) と模擬体 (W550×D450×t200) の中心部に熱電対をセットしてコンクリート温度と外気温の計測を行った。これは信楽生コン(株)が標準化したものであり, 下面には環境温度の影響を極力避ける目的で押し出し発泡ポリスチレン 30mm を敷いた。また, 模擬体と供試体にはラッピングフィルムを二重に覆い, その上から試験施工時と同じ養生シートを

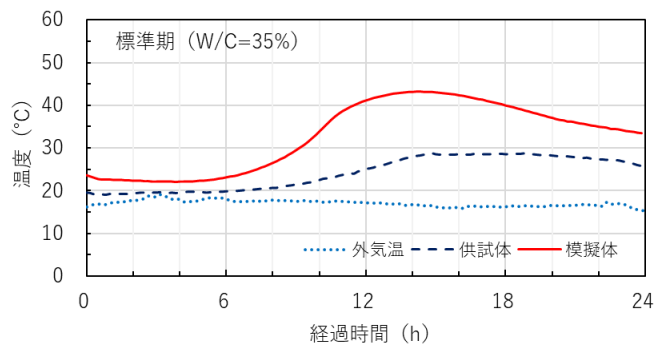


図-4.1 標準期の温度履歴(W/C:35%)

二重に被せた。実験は 4 シーズンで標準期, 冬期, 酷暑期(試験室内で温度調整), 最後に酷寒期とした。図-4.1 に W/C:35%の標準期の温度履歴の一例を示す。模擬体の寸法は実際の舗装版とほぼ同じ厚さであり, 舗装版の温度履歴を模擬できていると思われる。

### 4.3 実験結果(曲げ強度と積算温度との関係)

開放強度をピンポイントで探る事を第一の目的とした。3.5N/mm<sup>2</sup>(以下開放強度)は酷寒期を除けば 24 時間以内に発現すると予想した。したがって, 強度試験は夜中から早朝にかかることになった。曲げ強度と積算温度には関連性があり, 開放強度付近では積算温度と曲げ強度に直線の相関関係があったため, 対数近似式ではなく直線近似式(一次回帰式)で表すことにした。つまり, この時

点で供試体の温度履歴さえ測定すれば開放強度を推定でき、さらに夜間の強度試験が不要になり、管理が簡素化でき早期開放が可能となるメリットは非常に大きい。図-4.2～図-4.5 に各水セメント比における供試体の積算温度と曲げ強度の関係を示す。なお、積算温度は式(1)より求めた。

$$M = \sum(\theta + 10) \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに  $M$  : 積算温度 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ )     $\Delta t$  : 時間 (h)     $\theta$  :  $\Delta t$  時間中の温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

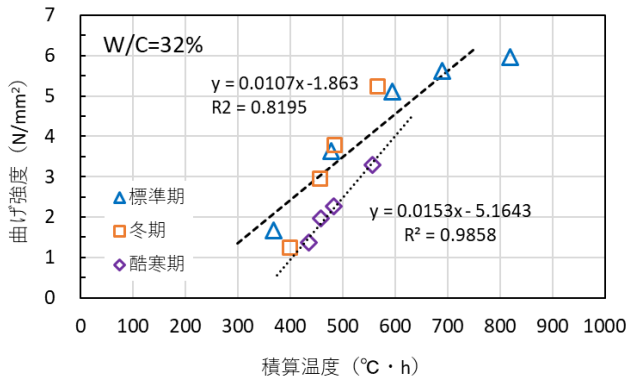


図-4.2 積算温度と曲げ強度 (W/C=32%)

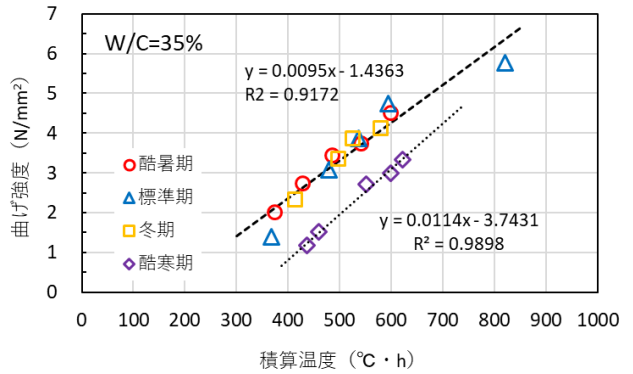


図-4.3 積算温度と曲げ強度 (W/C=35%)

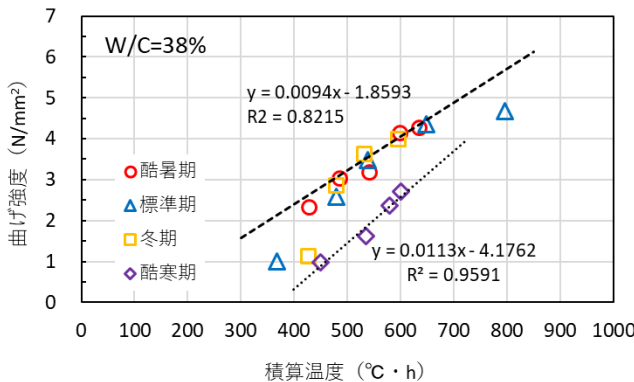


図-4.4 積算温度と曲げ強度 (W/C=38%)

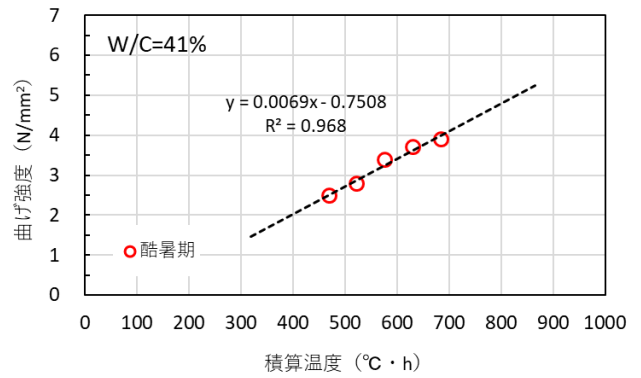


図-4.5 積算温度と曲げ強度 (W/C=41%)

図より、酷寒期を除いて積算温度と曲げ強度の関係は、水セメント比毎に1本の直線近似式で表される。図-4.6 および図-4.7 に各シーズンの水セメント比毎の直線近似式を示す。開放強度に到達する積算温度は、W/C が小さいほど小さくなる傾向を示した。酷寒期だけが1つの直線近似式で表せない理由は、酷寒期のX軸の切片が  $400^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$  程度と大きく、これは極低温のため水和反応が遅延したことに起因している。表-4.2 に近似式より求めた開放強度に到達する積算温度と経過時間を示す。酷暑期、標準期および冬期の3シーズンは全ての配合で24時間以内に開放強度に達しているが、酷寒期においては全ての配合で開放強度に到達しない結果となった。図-4.8 および図-4.9 に W/C:35%の供試体の経過時間と積算温度の一例を示す。酷寒期の開放強度に到達するまでの経過時間は前記のとおり、30時間を超える結果となったが、実際の舗装版を模擬した模擬体の積算温度は24時間で到達しており、W/C:35%以下の配合条件であれば

表-4.2 3.5N/mm<sup>2</sup>到達までの値 (積算温度( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ ), カッコ内:経過時間)

W/C (%)	酷暑期 (外気:21~37 $^{\circ}\text{C}$ )	標準期 (外気:16~20 $^{\circ}\text{C}$ )	冬期 (外気:8~16 $^{\circ}\text{C}$ )	酷寒期 (外気:1~6 $^{\circ}\text{C}$ )
32	—	501 (15.7h)	501 (17.5h)	566 (27.3h)
35	520 (11.4h)	520 (16.2h)	520 (18.5h)	635 (31.6h)
38	570 (12.7h)	570 (17.7h)	570 (21.3h)	679 (35.7h)
41	616 (13.7h)	—	—	—

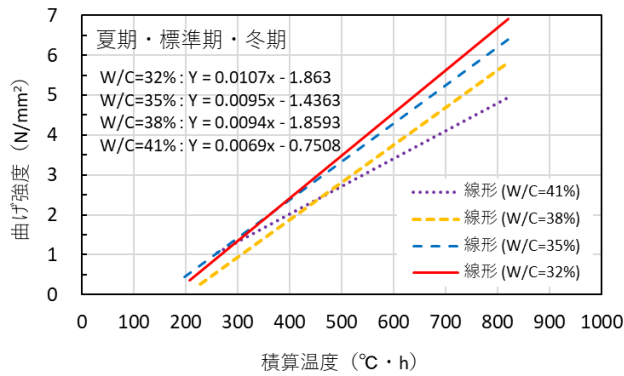


図-4.6 積算温度と曲げ強度(3シーズン)

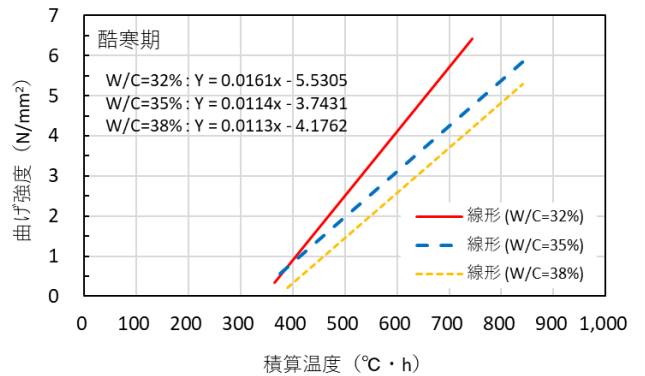


図-4.7 積算温度と曲げ強度(酷寒期)

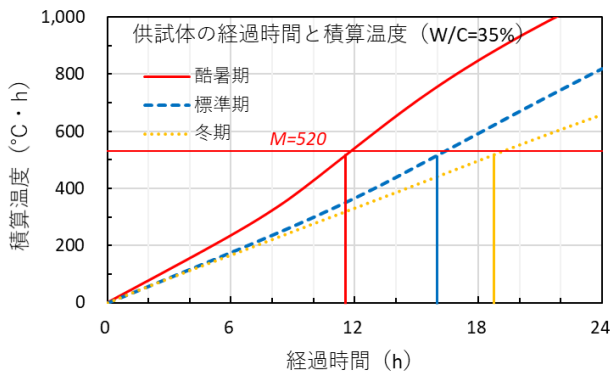


図-4.8 経過時間と積算温度(3シーズン)

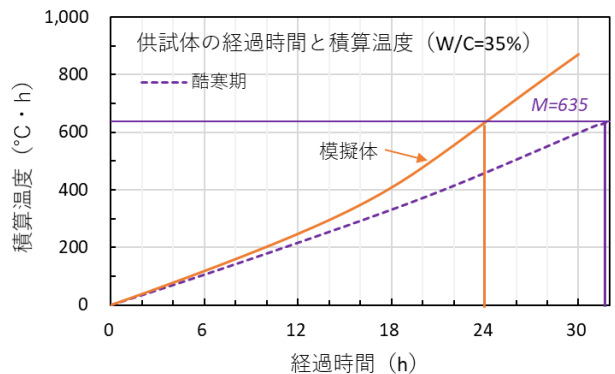


図-4.9 経過時間と積算温度(酷寒期)

開放強度を満足するものと推定される。図-4.10にC/Wと開放強度に到達するまでの積算温度の関係を示す。3シーズンおよび酷寒期ともに直線近似で高い相関が得られた。図-4.11にC/Wと開放強度到達時間の関係を示す。高温ほど供試体と模擬体の開放強度到達時間の差が小さくなる傾向を示した。言い換えれば低温ほど同時間における供試体と模擬体の積算温度に差が生じていることを意味する。曲げ強度が積算温度の Maturity 則に従うとすると、酷寒期においても実際の舗装版の曲げ強度は W/C:35%以下であれば24時間で開放強度を満足すると推定される。

図-4.12に曲げ強度供試体と同一条件で養生した圧縮強度と曲げ強度の関係を示す。精度を上げるため3シーズンと酷寒期を分けて示した。両者には高い相関があり、圧縮強度試験で通常管理が可能であると思われる。

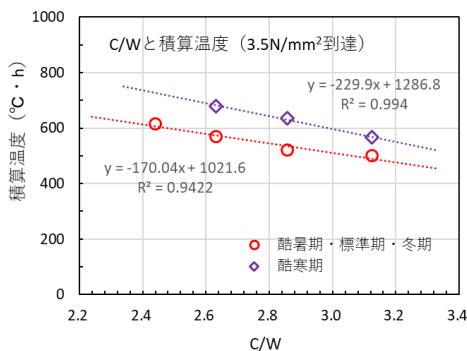


図-4.10 C/Wと積算温度

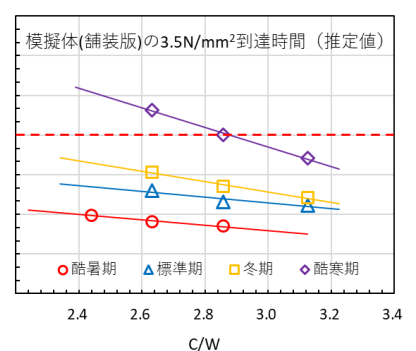
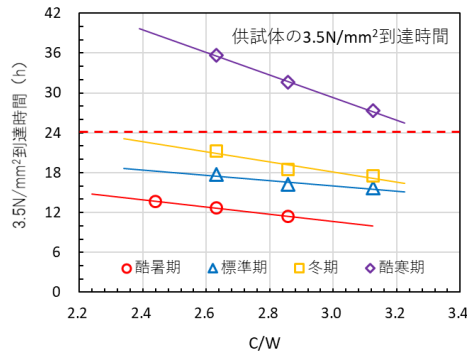


図-4.11 C/Wと開放強度到達時間(左:供試体 右:模擬体)



## 5. 酷寒期の対策および今後の展望

酷寒期の実施工については給熱などの対策を行わなければならない。寒中コンクリートになることから、養生条件など工夫が求められる。施工性を考えると、W/C を 32%以下にすることはコンクリートのブリーディング量減少と粘性が強くなり過ぎ推奨することが出来ない。ここで、酷寒期だけについて結論をだすと、施工時期をずらすか、給熱養生等の措置をとって経過観察する。もしくは養生時間を 24 時間以上に延ばすことも考慮すべきである。今回の実験の開始時刻は午前の①8:20～②9:10～③10:00～と設定した。これは実施工を想定したからである。構造物の最も発熱する時間帯、開放強度発現時間、ひび割れの危険な時間帯(温度低下時)、カッター目地のタイミング、交通開放時期等の施工管理に関する詳細まで、1DAY PAVE というコンクリートを色々な角度から考察できるようになった。今回得られた実験結果から施工者が得る情報は格段に増えるであろう。

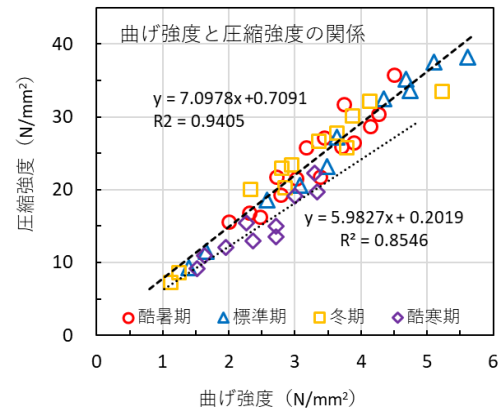


図-4.12 曲げ強度と圧縮強度の関係

## 6. まとめ

1DAY PAVE の試験施工の実施および 4 シーズンにおける室内試験の結果で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 1DAY PAVE 製造施工マニュアル<sup>2)</sup>で推奨している配合条件 (W/C:35%, スランプ : 18cm, 早強ポルトランドセメントと高性能 AE 減水剤を使用) で試験施工を実施した結果, 24 時間で目標値を満足する曲げ強度が得られた。
- (2) 標準期, 酷暑期および冬期において, 供試体の曲げ強度は Maturity 則に従うことが確認され, 供試体の受ける積算温度で 1DAY PAVE の曲げ強度を推定することが可能となった。
- (3) 信楽地区特有の酷寒期においては, 水和開始時期が遅延することにより, 上記 3 シーズンとは異なる積算温度となったため, 実施工については給熱などの対策を施し留意する必要がある。

## 7. おわりに

1DAY PAVE は早期開放型と謳っている以上, 強度発現(開放強度や強度到着時間)に着目する必要がある。だから温度履歴と強度発現時期を可視化した。発注者, 設計者, 施工者にその特徴を再認識してもらうためであり, このコンクリートにしかない優位性を紹介するためであった。現在当たり前のようになっている MCON(大臣認定)も当初はコテ仕上げが簡単にできるコンクリートと思われていた。一見扱いにくいコンクリートであってもその特性を丁寧に説明することで, コンクリートの認知度は必ず高まると確信している。我々製造業者は見学会を含めた普及活動を今後も継続していく必要がある。今回の実験結果が 1DAY PAVE の基本的な性質として認識され, このコンクリートが今まで以上に身近なものとなることを切望し, コンクリート舗装の普及に繋がれば幸いである。

## 謝辞

本実験にご協力頂きました(株)フローリックならびに住友大阪セメント(株)の関係各位, また, 参加者 120 名にも及ぶかつてない盛大な見学会を開くに当たってご尽力くださった関係者の皆様には心から感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 竹津ほか: 実地試験によるコンクリート舗装の目地切削時期の判定方法, 第 31 回日本道路会議論文集, 2015.10
- 2) 一般社団法人セメント協会: 早期交通開放型コンクリート舗装 1DAY PAVE 製造施工マニュアル[第 1 版], 2016.3