

1DAY PAVE配合設計マニュアル作成のための実験結果

○船尾 孝好*1 庄野 功*1 大藤 肇*1 栗延 正成*1 岩本 浩二*1

要旨：早期交通開放型コンクリート舗装（以下、1DAY PAVE という）の配合は、全国的に早強ポルトランドセメントを用い、水セメント比（以下、W/C という）35%程度以下に設定する場合が多く、24時間後の曲げ強度の安全を見過ぎる余地過剰な配合になりやすい。特にコンクリート温度が高くなる夏期には、初期強度が大きくなるにも拘らず、W/C35%をそのまま採用し、スランプ低下や施工性の低下など、品質管理が困難になる。また、1DAY PAVE の実績がない場合、W/C を3点ほど設定した試し練りにより、セメント水比（以下、C/W という）と曲げ強度の関係を確認の上、配合を決定するため、相当な時間と労力を費やすことも少なくない。そこで、大阪兵庫生コンクリート工業組合で設置している、コンクリート舗装の調査及び普及促進ワーキンググループ（以下、舗装WG という）では、事前協議の進め方や、簡略な実験で配合設計ができるように、1DAY PAVE 用の配合設計マニュアル（以下、マニュアルという）をまとめることとなった。本稿では、マニュアル作成にあたって実施した実験結果について報告する。

キーワード：1DAY PAVE、舗装コンクリート、配合設計、早強ポルトランドセメント、高性能 AE 減水剤、24時間曲げ強度、供試体の温度履歴、外気温、積算温度

1. はじめに

1DAY PAVE 用のコンクリートに求められる品質は、一般に設計基準曲げ強度 4.50N/mm^2 を満足すること以外に、打込み終了後 24 時間でコンクリート版の養生終了目安とされる曲げ強度（以下、養生終了強度）を満足させる事も求められる。なお、養生終了強度は、配合強度（設計基準曲げ強度×割増し係数）の7割以上とされ、一般に 3.50N/mm^2 が採用されている¹⁾。1DAY PAVE は養生期間が24時間と短いので、セメントの種類、W/C および養生温度の影響を大きく受ける。そこで、季節や配合の違いによるコンクリートの強度発現性に着目し、室内実験により確認することとなった。

また、1DAY PAVE の特徴は、通常の舗装コンクリートの配合より W/C が小さく、コンクリートの流動性が高く、一般にはスランプ 12cm から 18cm 程度、スランプフロー40cm のコンシステンシーのものが用いられ、流動性の高いものはコンクリートポンプによる施工に適用されている。一方、勾配 20%程度の斜面では、スランプ 8cm が適用された事例もあり、コンシステンシーの設定もさまざまであるため、コンクリートの配合設計に悩まされることがある。

今回の実験は、標準期、夏期および冬期を想定した室内実験において、養生温度の違いによる初期強度の発現性の違いや、フレッシュコンクリートの性状確保のため、かさ容積の設定方法を求めることとした。

実験は、先ず外部試験機関で、標準期、夏期および冬期を想定した恒温室内で練混ぜから初期養生までを行い、生コン工場の試験室で行う実験の目安とした。その実験結果を基に、代表9工場による室内実験を行った。代表工場では、試験室内で練混ぜを行い、夏期および冬期は直射日光や風雨にさらされない屋外で供試体の初期養生を行った。

*1 大阪兵庫生コンクリート工業組合 コンクリート舗装の調査及び普及促進ワーキンググループ

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験で使用した材料を表-1に示す。各工場の使用材料は、普通コンクリートで標準化しているものとし、特別な骨材または混和材料等を使用しないこととした。また、外部試験機関では、大阪兵庫地区で使用される代表的な材料を指定し実験に用いた。

セメントは、標準期、夏期および冬期の3シーズンとも早強ポルトランドセメントを使用し、夏期のみ、普通ポルトランドセメントを使用した。

練混ぜ水は、各試験室で通常使用しているものとし、目標コンクリート温度を満足できるように温度調整を行った。

細骨材は全ての工場で砕砂が使用され、その砕砂に石灰砕砂や海砂を併用している。

粗骨材は全ての工場で碎石1505と碎石2010が併用されている。また、外部試験機関では、碎石2005を20~15、15~10、10~5の3分割にし、それぞれ標準粒度となる割合で使用した。

化学混和剤は、普通コンクリートの配合で標準的に使用している銘柄の高性能AE減水剤標準形I種を使用した。

表-1 使用材料

工場名	セメント	水	細骨材			粗骨材		混和剤
A	T社	回収水(上澄水)	砕砂	石灰砕砂	—	碎石1505	碎石2010	C社
B	S社	工業用水	海砂	砕砂	—			F社
C	U社	地下水	砕砂	石灰砕砂	—			B社
D	U社	回収水(上澄水)	砕砂	石灰砕砂	—			N社
E	T社	回収水(上澄水)	砕砂	石灰砕砂	海砂			B社
F	S社	工業用水	海砂	砕砂	—			B社
G	T社	回収水(上澄水)	砕砂	石灰砕砂	—			B社
H	U社	工業用水	砕砂	石灰砕砂	—			B社
I	T社	地下水	砕砂	石灰砕砂	—			B社
外部試験機関	S社	上水道水	石灰砕砂	砕砂	—			碎石2005

2.2 配合

W/Cは、標準期および冬期では、W/C30%~40%、夏期の早強ポルトランドセメントを用いた配合は、標準期に実施した24時間曲げ強度試験結果より、W/C32%では十分過ぎると判断し、W/Cの範囲を35%~45%とした。また、普通ポルトランドセメントはW/C32%~40%とした。

なお、先行した外部試験機関の試し練りにおいて、W/C30%のスランブ8cmはフレッシュコンクリートの性状を確保するのが困難であることが判明したので、工場での実製造はW/C32%程度が限界と判断した。よって、代表工場の実験ではW/Cの下限値を32%とした。

目標スランブは、製造実績のある最も小さい値の8cmと、多く採用されている18cmとした。また、目標スランブフローは1DAY PAVEの代名詞である40cmとした。

単位水量は、目標スランブおよびスランブフロー毎に固定値とし、それぞれの目標値が得られるように混和剤添加率を増減させて調整することとした。

単位粗骨材かさ容積は、予備実験を行った結果から、普通コンクリートの高性能AE減水剤を使用した配合のW/Cとスランブの組合せに相当するかさ容積に対して50L増した値を参考値とした。代表工場は、フレッシュコンクリートが目標性状となるようにこの参考値を調整することとした。実験配合を表-2に示す。

表－2 実験配合

項目	時期	標準期	夏 期	冬 期
	W/C (%)	H	40・35・32 ^{※1} ・30 ^{※2}	45・40・35
N		—	40・35・32	—
単位水量 (kg/m ³)	スランプ8cm	155		
	スランプ18cm	165		
	スランプフロー40cm	170		
単位粗骨材かさ容積 (L/ m ³)		参考値を目安に目標性状が得られるように調整		
混和剤添加率 (%)		目標性状が得られるように添加率を増減		

※1：代表工場のみ実施 ※2：外部試験機関のみ実施

2.3 試験項目

スランプの許容値は、普通コンクリートと同じく、目標値±2.5cm、スランプフローの許容値は、目標値±5.0cmとした。

コンクリート温度については、それぞれの実験時期に応じて目標範囲を設定した。冬期の室内実験では、室温を10℃以下とすることが困難なため、コンクリート温度の目標値は10℃程度とした。

供試体の温度履歴は、写真－1に示すように、曲げ強度試験に影響のない場所に温度センサーを設置し測定した。



写真－1 供試体の温度履歴測定方法

曲げ強度の養生期間は、代表工場では材齢24時間および7日、外部試験機関ではそれに加え材齢18時間および30時間後も測定した。なお、7日強度試験用供試体は、24時間後に脱枠し速やかに標準水中養生を行った。表－3に試験項目および目標性状を示す。

表－3 試験項目および目標性状

試験項目		試験方法	目標性状
スランプ		JIS A 1101	8±2.5cm 18±2.5cm
スランプフロー		JIS A 1150	40±5.0cm
空気量		JIS A 1128	4.5±1.5%
温 度	コンクリート温度	JIS A 1156	標準期：15℃～25℃
	温度履歴		— — —
曲げ強度		JIS A 1106	18時間 ^{※3} ，24時間，30時間 ^{※3} ，7日

※3：外部試験機関のみ実施

3. 試験結果

3.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表－4～表－7に示す。全ての配合において、目標性状を満足する結果となった。

表－6に示す夏期に普通ポルトランドセメントを使用した実験では、実験計画時に、普通ポルトランドセメントの材齢24時間の曲げ強度について実績がなかったので、外部試験機関にて確認する

こととなった。そのため、スランプ 18cm のみ W/C32%~40%、スランプ 8cm およびスランプフロー40cm は W/C32% のみの実施となった。この外部試験での実験結果で、夏期は普通ポルトランドセメントを用いても、材齢 24 時間で 4.5N/mm² 以上の曲げ強度が得られることが判明し、代表工場での実験を実施した。なお、I 工場は、実験の実施時期が遅れ目標コンクリート温度が得られないと判断し実験を見送った。

表-4 標準期の試験結果

工場名	W/C (%)	40				35				32 (30) ^{※4}			
		スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)
A	8	9.0	—	3.8	24	8.5	—	3.5	24	9.5	—	4.5	24
B		9.0	—	5.5	21	8.0	—	5.0	22	7.5	—	4.3	22
C		10.5	—	4.7	20	9.5	—	4.0	21	8.0	—	3.9	21
試		9.0	—	4.2	21	8.0	—	4.3	21	(6.5)	—	(4.2)	(22)
D	18	18.5	36.0	3.7	22	20.5	41.0	4.0	22	20.0	37.5	4.8	22
E		19.5	33.0	5.0	21	16.0	25.5	4.4	21	19.5	34.5	4.0	21
F		20.5	35.0	5.0	24	19.0	30.5	4.4	25	15.5	25.5	4.5	25
試		19.5	34.5	4.9	22	18.5	27.5	3.5	22	(19.5)	(31.5)	(5.3)	(21)
G	40	—	44.5	4.7	25	—	41.5	4.6	25	—	44.5	4.2	25
H		—	39.5	4.9	23	—	38.0	5.0	23	—	41.5	4.4	23
I		—	41.5	4.0	21	—	41.5	3.8	22	—	44.5	5.2	22
試		—	38.5	4.6	21	—	40.0	4.7	21	—	(41.5)	(3.5)	(22)

※4：代表工場はW/C32% 外部試験機関は30%で実施 カッコ内の数値は外部試験機関で実施したW/C30%の測定値

表-5 夏期の試験結果

工場名	W/C (%)	45				40				35			
		スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)
A	8	8.5	—	4.3	32	7.0	—	3.9	32	8.0	—	4.4	33
B		9.0	—	4.4	29	8.0	—	4.6	30	7.5	—	4.6	30
C		7.5	—	4.1	33	9.0	—	3.2	33	8.0	—	3.3	34
D		17.5	31.5	4.3	31	18.0	33.0	5.5	31	19.0	30.5	5.0	32
E	18	20.5	38.5	4.3	30	20.0	35.5	4.5	30	18.5	29.5	5.0	30
F		18.5	30.5	5.5	30	19.0	32.0	5.3	30	17.5	28.0	4.9	30
G	40	—	41.5	4.0	31	—	44.0	4.5	31	—	39.5	4.6	31
H		—	41.0	3.7	31	—	37.5	3.8	31	—	37.0	4.4	31
I		—	41.5	4.5	30	—	44.0	4.0	30	—	41.5	5.0	30
試		—	41.5	4.5	30	—	44.0	4.0	30	—	41.5	5.0	30

表-6 夏期（普通ポルトランドセメント）の試験結果

工場名	W/C (%)	40				35				32			
		スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)
A	8	9.0	—	3.6	31	8.0	—	4.5	32	7.0	—	3.7	32
B		6.0	—	3.6	33	8.0	—	3.5	33	8.0	—	3.6	33
C		9.5	—	3.6	30	9.0	—	4.5	30	8.5	—	3.6	31
試		—	—	—	—	—	—	—	—	8.5	—	4.4	32
D	18	18.0	31.5	4.4	31	18.0	31.0	4.0	31	18.5	33.5	4.2	31
E		18.0	28.5	3.6	33	20.0	35.0	3.8	32	18.0	28.0	3.5	32
F		20.0	34.5	5.0	30	17.0	29.0	4.4	30	17.0	29.5	5.1	30
試		19.5	33.0	5.0	31	19.0	31.0	4.3	32	18.5	30.5	3.9	32
G	40	—	40.0	4.4	31	—	42.0	4.2	31	—	39.5	4.7	31
H		—	43.0	3.9	32	—	40.0	4.9	32	—	41.5	4.2	32
I		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
試		—	—	—	—	—	—	—	—	—	37.5	4.7	30

表-7 冬期の試験結果

工場名	W/C (%)	40				35				32 (30) ^{※4}			
		スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)	スランプ [*] (cm)	スランプ [*] フロー (cm)	空気量 (%)	C T (°C)
A	8	8.0	—	4.4	11	10.0	—	3.8	11	10.0	—	4.4	11
B		8.5	—	3.7	10	7.0	—	3.5	10	8.5	—	4.2	10
C		10.0	—	5.0	7	6.5	—	4.2	8	6.0	—	5.1	9
試		8.5	—	4.8	8	7.0	—	3.7	9	(7.0)	—	(4.4)	(10)
D	18	18.0	30.0	5.0	8	19.5	33.5	4.6	8	18.0	29.5	4.1	9
E		20.0	32.5	4.5	13	19.0	31.0	3.8	13	17.0	30.5	3.2	13
F		19.0	32.5	5.2	11	20.0	34.0	4.2	11	17.0	27.0	4.8	11
試		19.5	36.5	3.6	8	18.0	30.0	4.8	9	(17.0)	(28.0)	(3.6)	(9)
G	40	—	39.0	3.7	9	—	42.5	3.9	9	—	42.0	3.7	9
H		—	38.5	3.7	11	—	38.0	4.5	11	—	39.0	3.9	11
I		—	38.5	5.3	13	—	44.0	3.7	13	—	41.0	3.7	12
試		—	43.0	4.6	8	—	40.0	3.5	8	—	(40.5)	(4.5)	(10)

3.2 曲げ強度試験結果

材齢24時間および7日のC/Wと曲げ強度の関係を図-1および図-2に示す。各C/Wにおいて、工場間の曲げ強度の差が大きい結果となったが、これは使用材料および初期養生期間中の環境温度が大きく関係しているものと思われる。

また、標準期および冬期に外部試験機関で測定した、材齢18時間から30時間の曲げ強度の増進を図-3と図-4に示す。標準期は緩やかな増進となっているが、冬期は標準期と比較すると、急な勾配となっており、早期の強度発現には養生温度の影響が大きいことが分かる。

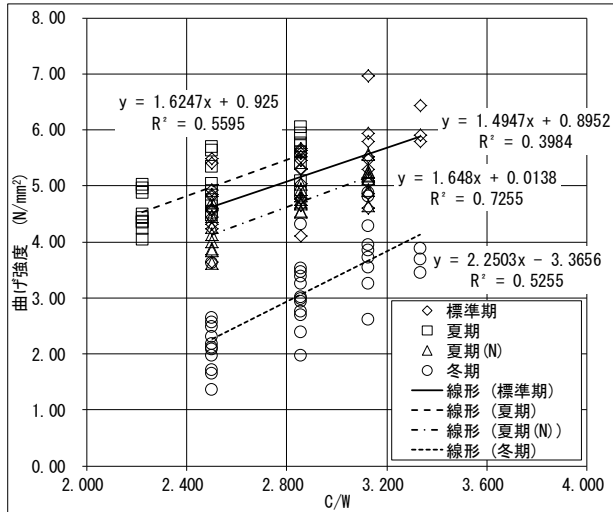


図-1 C/Wと曲げ強度の関係 (24時間)

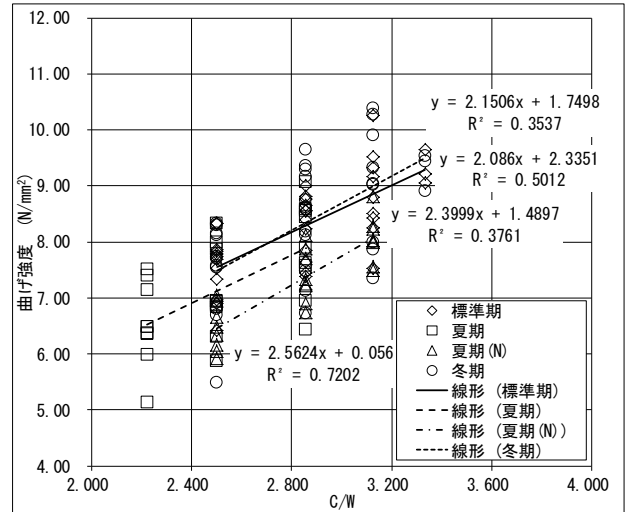


図-2 C/Wと曲げ強度の関係 (7日)

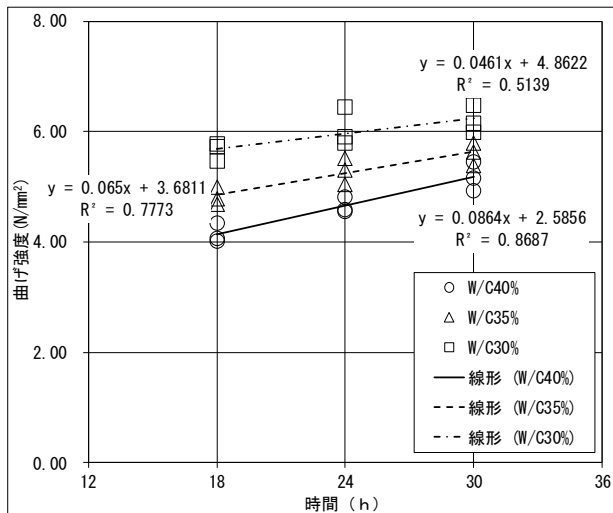


図-3 曲げ強度の増進 (標準期)

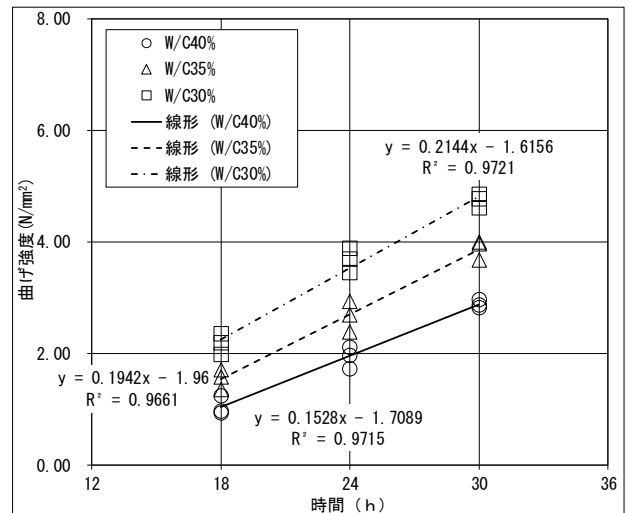
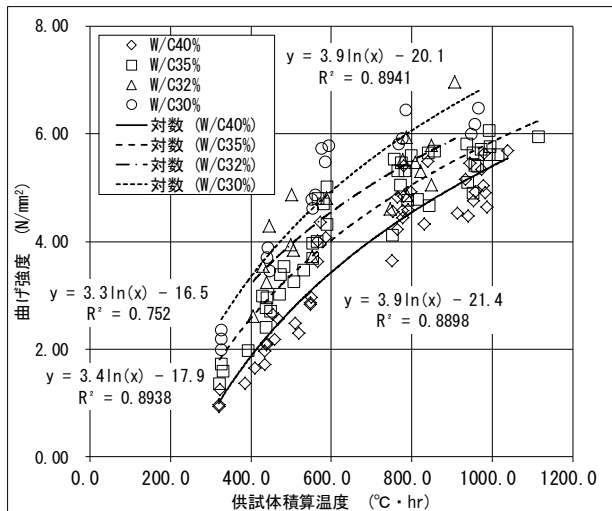


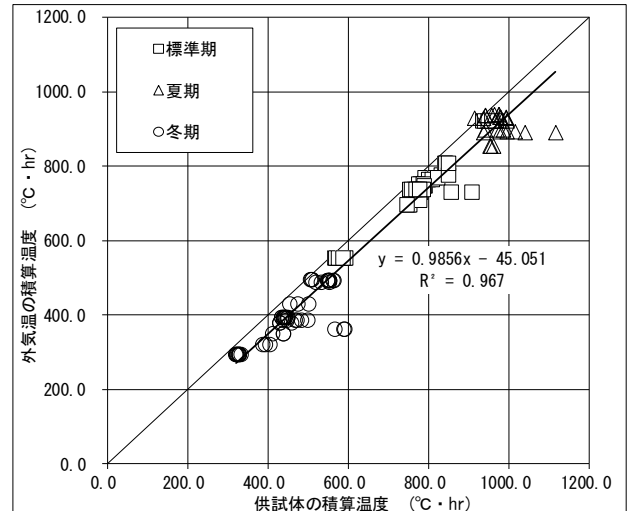
図-4 曲げ強度の増進 (冬期)

3.3 積算温度と曲げ強度の関係

W/C 毎の供試体積算温度と曲げ強度の関係を図-5に示す。供試体の温度は、写真-1に示す温度センサーにより、曲げ強度試験の直前まで測定した。また、外部試験機関では、材齢24時間に加え18時間および30時間の積算温度も測定した。W/C 毎の近似曲線によると供試体の積算温度と曲げ強度に関係性があることが分かる。また、図-6に示すように、供試体作製直後から30時間までの供試体の積算温度と外気温の積算温度についても関係性があることが分かる。



図－5 供試体積算温度と曲げ強度の関係



図－6 供試体積算温度と外気温の積算温度

4. まとめ

マニュアルでは、積算温度と曲げ強度の関係について解析し、目標曲げ強度毎に、予想平均気温から W/C を求める一覧表を作成した。これにより、急に 1DAY PAVE を受注した時でも、予想平均気温が分かれば、それに相当する W/C を設定する事が可能であり、配合設計のための試し練りを省略することができる。また、フレッシュコンクリートの性状については、相当する W/C の普通コンクリートの高性能 AE 減水剤配合のかさ容積を $50\text{L}/\text{m}^3$ 程度大きくする事で、概ね満足することが判明した。なお、マニュアルでは、これら配合設計の手順についてフロー図等により解説しているので、是非ご参考にして頂ければと思う。

今回の実験では、夏期に普通ポルトランドセメントを用いても、材齢 24 時間で一般的な養生終了強度である $3.50\text{N}/\text{mm}^2$ を確保できることが判明し、外気温が高い夏期においては、普通ポルトランドセメントが代用できることが分かった。

また、冬期や寒冷地において外気温が低くなる場合には、W/C32%程度以下に設定しても、材齢 24 時間で、 $3.50\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の曲げ強度を得ることは困難であることがわかり、この時期の 1DAY PAVE を受注した際は、施工者および工事監理者と事前協議を実施し、打込み終了後 24 時間でコンクリート版の養生を終了するためには、給熱養生を用いるなど養生方法に配慮することを知らせる必要があると考える。

謝辞

本実験にご協力頂きました関係各位及び代表工場の皆さま、実験では猛暑の中、屋外での作業に時間を割いてくださり、本当にありがとうございました。おかげさまで実験の結果をまとめマニュアルを発刊することができました。

参考文献

- 1) (一社)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]、p.2-3、2016.3