

異種セメントを用いたコンクリートを打ち重ねた場合のコンクリートの特性

嶋藤清隆¹・西正己¹・宮原孝平²・村上祐治³

¹正会員 株式会社間組 九州支店（〒812-8562 福岡県福岡市博多区下呉服町1番1号日通ビル）

²株式会社間組 九州支店（〒812-8562 福岡県福岡市博多区下呉服町1番1号日通ビル）

³正会員 工博 株式会社間組 技術・環境本部 技術研究所（〒305-0822 茨城県つくば市苅間515-1）

本工事は那覇西道路の空港側立坑接続部に位置する陸上トンネル部区間 L=95m の2径間ボックスカルバートの開削トンネルを構築する工事である。今回、工期短縮を目的にして側壁上部と上床版のコンクリートを同時に打込むこととした。側壁は中庸熱ポルトランドセメント，上床版は普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートであり，異なるセメントを用いたコンクリートの打ち重ねた場合について検討した。

本報告は，それぞれのコンクリートの力学特性についてまとめたものである。

キーワード：中庸熱ポルトランドセメント，普通ポルトランドセメント，ブリーディング，打重ね，強度

1. まえがき

那覇西道路は図-1 に示す沖縄県那覇市若狭を起点として那覇市鏡水に至る延長 3.0km の地域高規格道路（国道 58 号線）であり，沖縄県西海岸道路の一部に指定されている I 種 3 級国道の自動車専用道路として 2011 年の開通を目指して工事を行っている。今回対象としているコンクリート構造物は那覇西道路の空港側のうち，図-1 に示す空港側立坑接続部に位置する陸上トンネル部区間 L=95m の2径間ボックスカルバートの開削トンネルを築造

する工事である。

2 径間ボックスカルバートのコンクリート打込みリフトは，当初予定では，図-3(a)に示すように第 1 リフトを底部から下端ハンチの上部までとし，第 2 リフトを側壁・中壁とも 3.8m リフトとし，第 3 リフトは残りの側壁・中壁(2.8m)を打込んだ後に，頂部の上床版を打込むこととしていた。しかし，工程短縮を目的として，図-3(b)に示す側壁・中壁の第 3 リフトと上床版コンクリートを同時に打込むこととした。



図-1 那覇西道路の概要

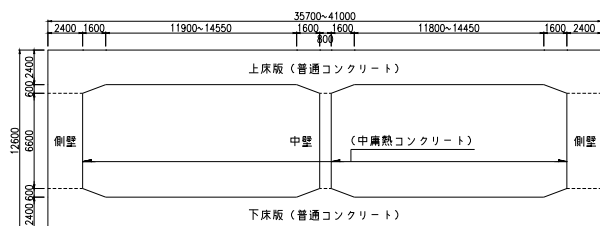


図-2 2径間ボックスカルバート

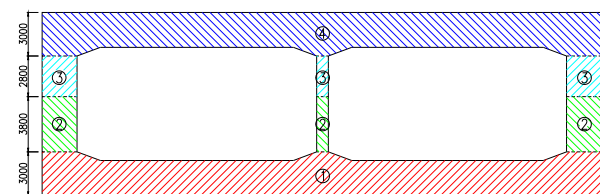


図-3(a) 当初予定のコンクリート打込み順序

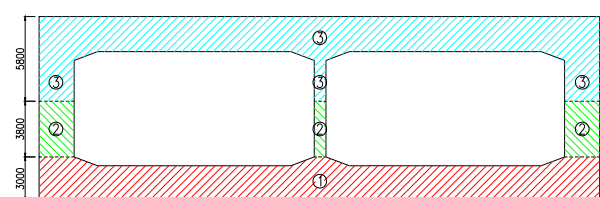


図-3(b) 工期短縮のためのコンクリート打込み順序

図-2 に示すように、側壁・中壁に用いるコンクリートは中庸熱ポルトランドセメントを用いたコンクリート（以下、中庸熱コンクリートと称す）であり、上床版に用いるコンクリートは普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート（以下、普通コンクリートと称す）である。今回残りの側壁部分と上床版部（頂版）のコンクリートの種類が相違していることから、セメント種類が相違したコンクリートを打ち重ねた場合を検討する必要がある。土木学会コンクリート標準示方書¹⁾では、2種類以上のセメントを混合することにより予測できない結果を生じることがあるため、予め異なった種類のセメントを混合使用する場合には、コンクリートの性能を確認する必要があると記述されている。中庸熱コンクリートと普通コンクリートを打ち重ねた部分はフレッシュコンクリートの状態で中庸熱ポルトランドセメントと普通ポルトランドセメントを混合したことと同様の状況になることが予想されるため、その性能を確認することにした。

本報告は、中庸熱コンクリートに普通コンクリートを打ち重ねた硬化コンクリートに関する力学特性をまとめたものである。

2. 構造物の特徴

本 2 径間ボックスカルバートは側壁、下床版お

よび上床版の部材厚が 2.4m と厚く、D51 を含む鉄筋がコンクリート単位体積当り 215kg/m^3 と多く配置される構造物である。壁部が 80cm 以上でありマスコンクリートとなるため、3 次元の FEM 温度応力解析を行った。表-1 に示すように側壁・中壁部のコンクリートを普通コンクリートから中庸熱コンクリートに変更することによって、温度ひび割れ指数をリフト 1 では 1.82 に、リフト 2 では 1.46 と 1.4 以上確保できることになった。

コンクリート打込み順序を 4 リフトから 3 リフトに変更した場合の工程の工期比較を表-2 に示す。2.8m の側壁・中壁と上床版を同時に打ち込むことで、工程は 6 日程度短縮できるため、図-3(b) に示す側壁上部と上床版部を同時に打ち込むリフトスケジュールとした。

3. 打ち重ねたコンクリートの試験概要

コンクリートの材料および配合を表-3 に示す。

中庸熱コンクリートがまだ固まらないうちに、上部に普通コンクリートを打ち重ねる場合、次のことが考えられる。

- (1)中庸熱ポルトランドセメントの比表面積は $2980\text{cm}^2/\text{g}$ 程度、普通ポルトランドセメントの比表面積は $3240\text{cm}^2/\text{g}$ 程度であるため、中庸熱ポルトランドセメントの比表面積が普通ポルトランドセメントより小さく、ブリーディング量は多くなることが予想される。
- (2)側壁・中壁部に中庸熱コンクリートを打ち込み、まだ固まらないうちに上部に普通コンクリートを打ち込むと、中庸熱コンクリートからブリーディング水が生じて中庸熱コンクリートと普通コンクリートの間に空隙が生じる可能性がある。

フレッシュコンクリートの試験項目として、打重ね部に影響する中庸熱コンクリートのブリーディング試験を行った。

中庸熱・普通コンクリートの配合は設計基準強度 $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ で、 $W/C=50\%$ 、 $G_{max}=20\text{mm}$ である。試験体は①中庸熱コンクリート、②普通コンクリート、③中庸熱コンクリートを打ち込んだ後 1 時間後に普通コンクリートを打ち重ねたもの、④中庸熱コンクリートと普通コンクリートを混合攪拌したもの（混合比 1 : 1）の供試体（ $\phi 100 \times 200$ ）を現場打込み時に採取した。硬化コンクリートの力学特性試験は、圧縮強度試験、割裂引張試験、直接引張試験（図-10）を材齢 28 日で実施した。

表-1 側壁・中壁を普通コンクリートから中層熱コンクリートへ変更した場合の効果

解析位置		仮想 打込み 日	最高温度		最小温度ひび割れ指数			普通コンクリート の場合の温度 ひび割れ指数
			材齢 (日)	最大温 度 (℃)	材齢 (日)	発生応 力 (N/mm ²)	温度ひび 割れ指数	
側壁 リフト 1	表面	8 月	5.3	46.0	3.7	0.8	2.49	—
	中央	29 日	3.3	65.9	71.3	1.6	1.82	0.92
側壁 リフト 2	表面	11 月	2.3	35.3	4.0	0.8	2.78	—
	中央	5 日	3.3	56.2	17.0	1.8	1.46	0.72
上床版	表面	11 月	1.5	39.5	3.7	1.3	1.80	—
	中央	20 日	2.7	54.1	131.0	2.3	1.40	—

表-2 4リフトを3リフトとした場合の工程比較

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
壁・上床版別打設	●					●			●					●																							
							●	●												●	●																
壁・上床版同時打設	●					●			●																	●											

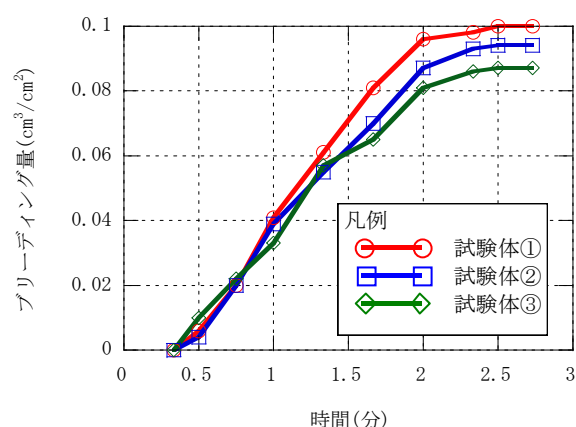


図-4 中層熱コンクリートのブリーディング履歴

4. 中層熱コンクリートのフレッシュコンクリート特性

中層熱コンクリートのブリーディング試験結果を図-4に示す。試験に用いたコンクリートのスランプは12.5cm、空気量は4.2%、コンクリート温度

は30℃である。ブリーディングは、20分を過ぎた時点からブリーディング水が生じ始めてその後2時間程度まで発生しており、ブリーディング量は1時間後で0.04cm³/cm²、最終的に0.1cm³/cm²程度となった。なお、ブリーディング率の平均値は2.25%であった。

5. 中層熱コンクリートと普通コンクリートの力学特性

(1) 圧縮強度と静弾性係数の関係

コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、土木学会コンクリート標準示方書²⁾や建築工事標準仕様書 JASS5³⁾などに掲載されているように密接な関係がある。両学会ともに、圧縮強度と静弾性係数の関係の推奨値を掲載している。

コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-5に示す。普通コンクリートの圧縮強度が40N/mm²程度と高く、中層熱コンクリートは33～35N/mm²である。これは普通ポルトランドセメン

表-3 コンクリートの配合

セメントの種類	呼び強度 (N/mm ²)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラン プ (cm)	空気量 (%)	水セメン ト比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量(kg/m ³)					
							水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	混和剤 Ad.
									①砕砂	②海砂		
普通ポルトランドセメント	24.0	20.0	10.0	4.5	50.0	49.8	161	322	365	538	938	1.932
中層熱ポルトランドセメント	24.0	20.0	10.0	4.5	50.0	49.8	158	316	369	542	946	1.738

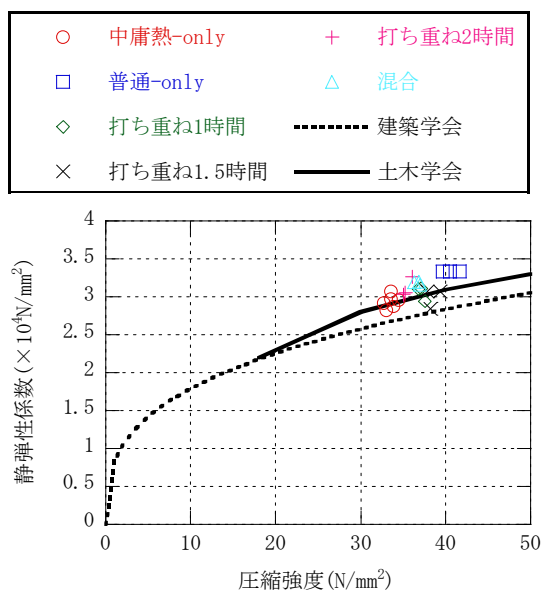


図-5 圧縮強度と静弾性係数の関係

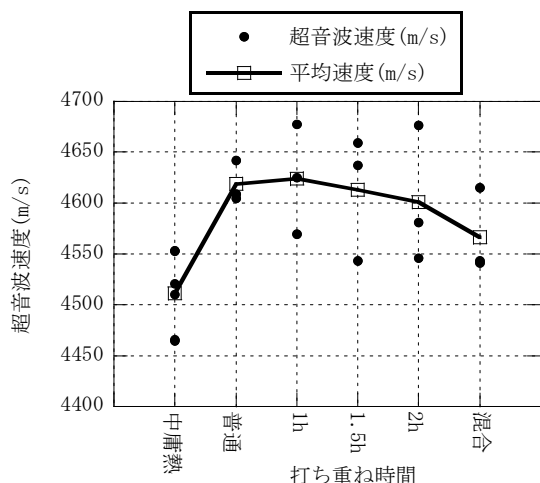


図-6 各コンクリートの軸方向の超音波伝播速度

トと中熱ポルトランドセメントの反応の相違により生じたものと考えられる。

また、図-5 に示すように、普通と中熱コンクリートの圧縮強度の範囲に、打ち重ね時間 1・1.5・2 時間後と混合の供試体の圧縮強度があることがわかる。混合、打ち重ね 1 時間・1.5 時間・2 時間後の供試体は、ほぼ同様な箇所にプロットされており、それらの圧縮強度と静弾性係数の関係は、ほぼ同様な位置にプロットされ、圧縮強度と静弾性係数の関係は一般のコンクリートと同様であり、混合や打ち重ね 1 時間～2 時間の間ならば同様のコンクリートであると考えられる。

(2) 超音波伝播速度

打ち重ね部分に空隙が存在する場合、他の供試体

の超音波伝播速度と異なる結果が生じることになる。

各供試体の軸方向の超音波伝播速度を図-6 に示す。混合、打ち重ね 1 時間後・1.5 時間後・2 時間後に関する軸方向の超音波伝播速度はほぼ同様な値であった。

6. 打込コンクリートの力学特性

(1) コンクリートの打込みと温度特性

現場におけるコンクリートは、側壁・中壁部が 269m³、上床版部が 1667m³、これを約 15 時間かけて打ち込んだ。施工の詳細は以下に示す。

1) 打込み速度は側壁を 0.7m/層、30m³/h とし、中壁を 0.6m/層、16m³/h とした。上床版は 0.4m/層、50～60m³/h とした。

2) コンクリートはレディーミクストコンクリート工場からアジテータ車で運搬し、側壁・中壁部を 3 台、上床版部を 4 台のコンクリートポンプを使用し打ち込んだ。

3) 側壁・中壁のコンクリートは長尺の内部振動機により締め固めた。

コンクリートのスランプは 10.5～11.0cm、空気量は 4.3%、コンクリート温度および外気温はそれぞれ 18℃、15℃であった。

側壁部・上床版部に熱電対温度計を図-7 のように埋設し、温度計測を行った。コンクリート温度の一覧表を表-4 に、中熱コンクリートと普通コンクリートの温度履歴を図-8 に示す。中熱コンクリートの最高温度は打込み後 3.6 日で 61.4℃と

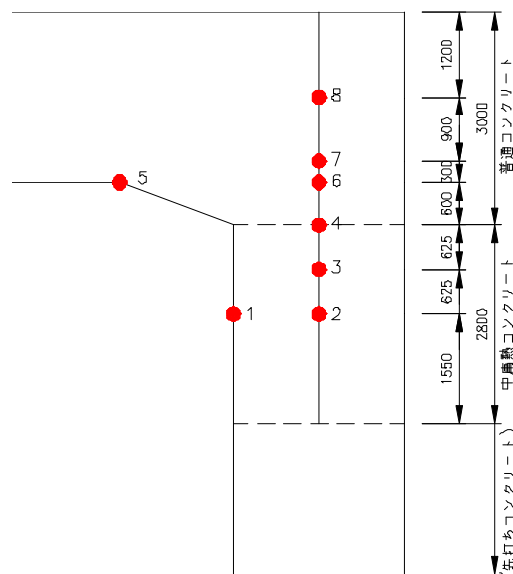


図-7 熱電対温度計の埋設位置

表-4 側壁と上床版部のコンクリート温度の一覧表

温度計位置			打込み温度 (°C)	最高温度ま での時間 (日)	最高温度 (°C)	上昇温度量 (°C)
外気温			—	—	13.9~26.9	—
①	中庸熱コンク リート+側壁	内側表面	18.0	2.083	41.7	23.7
②		中央	18.0	3.452	57.9	39.9
③		中央より63cm 上部	18.0	3.583	61.4	43.4
④	中庸熱コンクリートと普通コン クリートの境界		18.0	3.000	65.5	47.5
⑤	普通コンクリ ート+頂版	内側表面	18.0	1.875	55.1	37.1
⑥		中央境界より 60cm上部	18.0	2.500	68.9	50.9
⑦		中央境界より 90cm上部	18.0	2.250	71.7	53.7
⑧		中央境界より 1.8cm上部	18.0	2.292	72.6	54.6

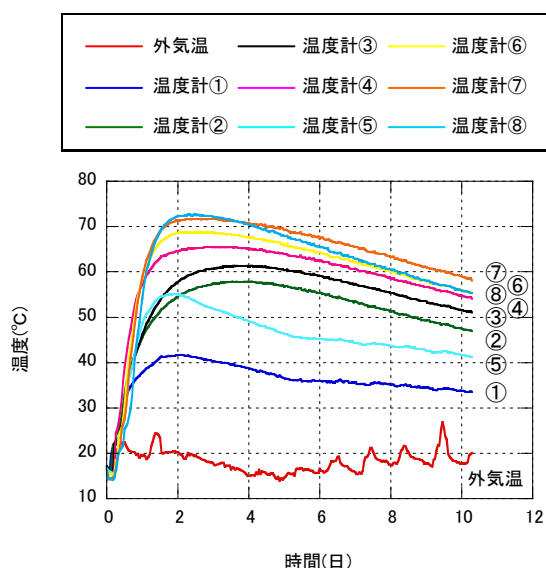


図-8 中庸熱・普通コンクリートの温度履歴

なっており、普通コンクリートの最高温度は打込み後 2.3 日で 72.6°C となった。部材断面や放熱条件等の相違も影響しているものと考えられるが、セメントの相違による発熱性の違いが顕著に生じていることを確認した。

(2) 割裂引張強度・直接引張強度

コンクリートの圧縮強度と割裂・直接引張強度の関係を図-9 に示す。今回のコンクリートの圧縮強度 f_c と割裂引張強度 f_{t-s} の関係は、 $f_{t-s}=1/12.3 \times f_c$ 程度である。コンクリートの圧縮強度 f_c と直接引張強度 f_{t-d} の関係は、 $f_{t-d}=1/13.7 \times f_c$ 程度である。直接引張強度は割裂引張強度の 90% 程度であった。

各試験体の割裂・直接引張強度を図-9 に示す。割裂引張強度は、①中庸熱コンクリート、②普通コンクリート、③中庸熱コンクリートを打ち込ん

だ後に普通コンクリートを打重ね、④中庸熱コンクリートと普通コンクリートを混合攪拌した供試体とも、ほぼ同様な値を示している。

以上のようなことから、圧縮強度、割裂引張強度及び直接引張強度とも、普通・中庸熱コンクリートと同様であること、混合コンクリート及び打重ねコンクリートの直接引張試験の破断位置も中庸熱コンクリートと普通コンクリートの境界面でないことから中庸熱コンクリートと普通コンクリートの打重ね部に異常がないものと思われる。

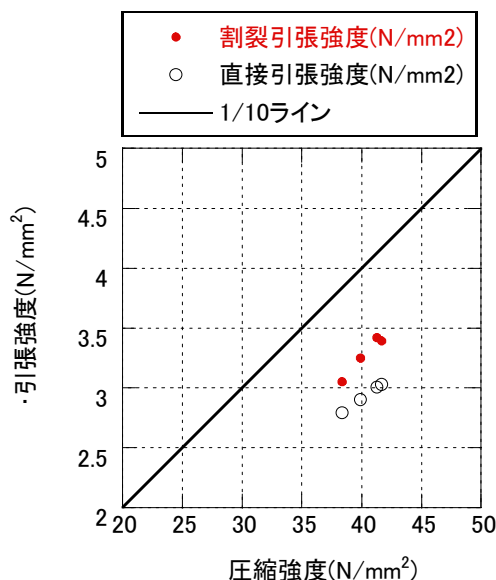


図-9 圧縮強度と割裂・直接引張強度の関係

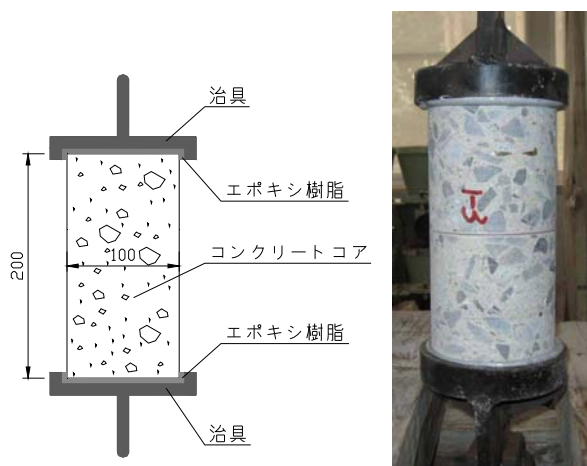


図-10 直接引張試験の状況

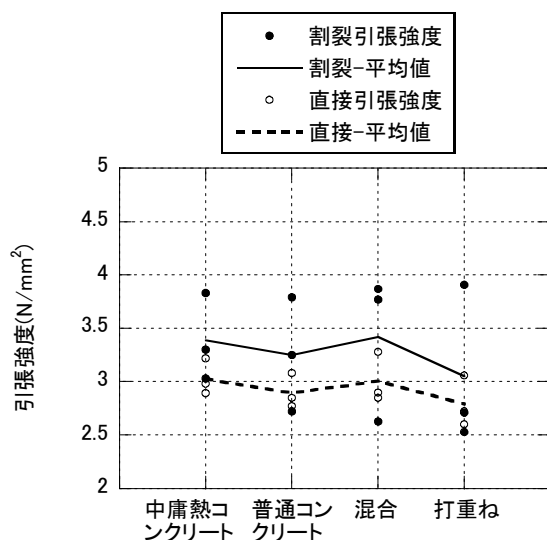


図-11 各試験体の割裂・直接引張強度

7. まとめ

中庸熱コンクリートに普通コンクリートを打ち重ねたコンクリートのフレッシュ時、硬化後の特性について、下記のことを確認した。

- 1) ブリーディング試験では、打込み後 2 時間までブリーディングは生じるものの、1 時間後のブリーディング量は $0.04\text{cm}^3/\text{cm}^2$ と少ないことが確認できた。
- 2) 実際のコンクリート打込み時のブリーディングの発生は認められなかった。これは、ブリーディング試験時のコンクリート温度及び外気温と比べ実作業時の温度がかなり低くなっていることが少なからず影響したものと考えられる。

3) 硬化コンクリートでは、圧縮強度・静弾性係数などの力学特性値、超音波伝播速度およびコンクリートの内部面の観察から、混合、打重ね 1 時間・1.5 時間・2 時間後の供試体は、ほぼ同等の力学特性値を有していることが確認できた。

4) 中庸熱、普通コンクリートの最高温度はそれぞれ、打込み後 3.6 日で 61.4°C 、2.3 日で 72.6°C であった。

5) 割裂引張強度 f_t-s と直接引張強度 f_t-d とは、 $f_t-d = 0.9 * f_t-s$ 程度の関係であった。

6) 直接引張強度における破壊面は、中庸熱コンクリートと普通コンクリートの境界部で破壊するのではなく、全て境界と相違する箇所での破壊した。

以上のことから、フレッシュコンクリート特性及び硬化コンクリートの力学的特性から見て、中庸熱コンクリート打込み後 1 時間で、普通コンクリートを打ち重ねることは可能であると確認できた。この結果を用いて側壁部と上床版部のコンクリートの打込みを行った。側壁部の中庸熱コンクリート、上床版部の普通コンクリートとも順調に打ち込むことができ、硬化コンクリートの力学特性についても試験同様の結果が得られた。

参考文献

- 1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，p.42～44，2007。
- 2) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，p.44，2007。
- 3) 建築学会：建築工事標準仕様書・同解説，JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2003，p.165～170，2003。