

[1182] 最大粗骨材寸法40mmの転圧コンクリートによる橋台基礎の施工

糸日谷淑光*¹・斉藤哲男*²・後藤英夫*³・十河茂幸*⁴

1. はじめに

明石海峡大橋1Aアンカレイジの基礎は、神戸層を支持地盤とする直径85m、深さ63.5mのケーソン基礎である。地下連続壁、側壁、底板、頂版の鉄筋コンクリート構造で囲まれた内部は、種々の施工法を比較検討した結果、工期・工費面で無筋の貧配合コンクリートで充填される転圧コンクリートが有利と判断され、約23万m³の転圧コンクリート（以下RCCと略称する）が施工された。

転圧コンクリートは、ダム用としてRCD工法が多くの実績を持っている。しかし、そのほとんどは粗骨材の最大寸法が80~150mmであり、40mmで施工した例はない。明石海峡大橋のアンカレイジ基礎は、立地条件および骨材供給上の制約から粗骨材の最大寸法は40mmと限定され、RCDとは別の検討が必要となった。一方、舗装用の転圧コンクリートは、粗骨材の最大寸法は40mmであるが、早期供用開始が必要であるため、比較的富配合であり、温度ひびわれが懸念されるこの構造物では参考にならない。そこで、新たに粗骨材の最大寸法が40mmの転圧コンクリートの配合を定め、実施工においては、施工管理および今後の参考とすることを目的に、種々の品質管理およびコアによる品質確認を行った。以下にそれらの結果について報告する。

2. コンクリート配合決定のための室内試験および予備施工性実験

2.1 要求品質

品質目標値は表-1に示す通りとした。粗骨材の最大寸法は、供給面から40mmとした。また温度ひびわれ制御上から、終局断熱温度上昇量を17℃とした。

表-1 RCCの品質目標

VC値 (sec)	空気量 (%)	設計基準強度 (kgf/cm ²) 材令91日	配合強度 (kgf/cm ²) 材令91日	単位容積質量 (t/m ³)	終局断熱温度 上昇量 (℃)
30 (20)*	1.5±1	90	180	2.30以上	17以下

* () 内は25mmスクリーニングコンクリートのVC値

2.2 材料および配合の決定

粗骨材の最大寸法が40mmの貧配合RCCは実績がないため、RCD工法技術指針(案)¹⁾に準じて配合を定めることとした。

使用セメントを選定するため4種の低発熱性セメントを用い比較試験を行った。VC値30±10秒とする配合はセメントの種類にかかわらず単位水量110kg/m³、単位セメント量130kg/m³となった。なお、細骨材は海砂を使用し、粗骨材には碎石4020と碎石2005の混合碎石を使用した。表-2に各種セメントを用いたRCCの試験結果を示す。

低発熱型セメントは2成分、3成分とも終局断熱温度上昇量は低いが、粉末度が高いため初期強度は高く、強度の伸び率は低い。高炉セメントB種の強度は初期、長期とも高いが終局温度上

*1 本州四国連絡橋公団 第一建設局 垂水工事事務所 第一工事長(正会員)

*2 本州四国連絡橋公団 第一建設局 垂水工事事務所 第一工事長代理

*3 大林・清水・飛鳥・東亜・不動・明石海峡大橋1A共同企業体 所長

*4 (株)大林組技術研究所 土木第三研究室 主任研究員, 工博(正会員)

表-2 各種セメントを用いたRCCの品質

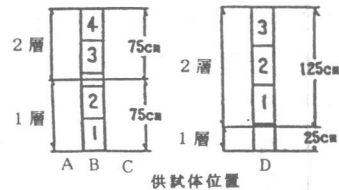
セメントの種類	記号	セメントの混合比 (%)			W/C (%)	s/c (%)	単位量 (kg/m³)		VC値 秒	空気量 (%)	単位容積質量 t/m³	圧縮強度 (kgf/cm²)			断熱温度上昇					
		C	S	F			W	C				材令 (日)			上昇量 (°C)	近似式**				
												7	28	91		K	a			
低発熱型 (二成分)	NS 85	15 (N)	85	0	84.6	32	110	130	36	3.3	2.38	89	135	174	13.8	13.7	0.41			
低発熱型 (三成分)	MS50-F27	23 (M)	50	27								28	2.4	2.36	109	174	207	13.1	13.1	0.60
中庸熱フライッシュ	M-F30	70 (M)	0	30								24	1.4	2.39	56	115	192	16.0	16.0	0.52
高炉B種	NS 47	53 (N)	47	0								31	2.6	2.39	127	216	266	21.0	21.0	0.66

M: 中庸熱フライッシュ F: フライッシュ S: スラグ N: 普通ポルトランド * 25mmのテストクーリング **K(1-e^{-a})

表-3 RCC施工性実験結果

区画	層厚 (cm)	セメント	転圧回数	材令91日圧縮強度 (kgf/cm²)				単位容積質量 (t/m³)					
				標準供試体	コア採取位置*1				標準供試体	サンプリング位置*1			
					4	3	2	1		4	3	2	1
A	75	中庸熱フライッシュ	10	255	182	175	202	173	2.39	2.39	2.36	2.36	2.36
B			低発熱型 (三成分)	10	297	220	192	189	199	2.39	2.41	2.37	2.42
C		6		209		182	195	232	2.41		2.36	2.40	2.40
D		125	10	-		186	230	155	-		2.40	2.36	2.39

(備考) *1. コア採取位置 コア寸法はいずれもφ200×h300mm



昇量も高く温度ひびわれに対しては危険側である。

2.3 施工性実験

V_C値を30±10秒と設定したが、この目標値が施工性に優れるか否かは実績がなく、施工性実験により確認することとした。1層の打設厚さは75cm、125cmとし、転圧回数を6あるいは10回、セメントの種類による影響などについて比較した。施工機械には3tonブルドーザおよび振動ローラー(BW-200,振動数40Hz, 走行速度1km/h, 転圧時最大

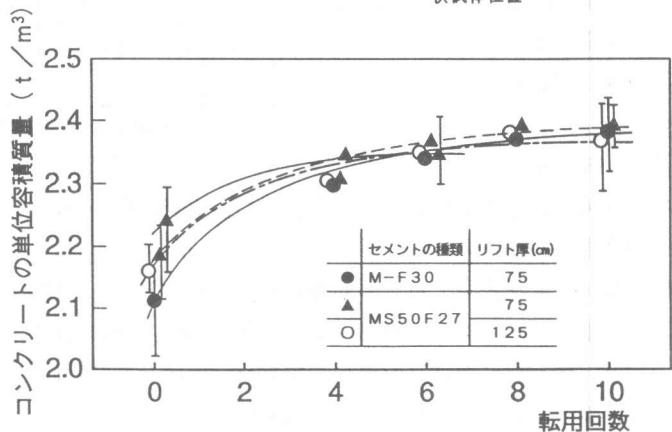


図-1 転圧回数とコンクリートの単位容積質量

加速度11g(後輪軸上), 振幅0.86mm)を用いた。その結果、施工性はいずれも良好と判断されたが、表-3に示すように標準供試体およびコアの圧縮強度試験結果および単位容積質量の測定結果では、層厚125cmの場合最深層の強度が低く、転圧効果が下部まで十分に及ばないと判断された。なお、RI密度計による単位容積質量の測定結果では、図-1に示すように転圧6回以上で

安定することが認められた。

以上の結果よりリフト厚を75cm、敷均し3層、振動転圧回数を6回とし、現場施工実験を行うこととした。使用するセメントについては、低発熱型セメント、中庸熱フライアッシュセメントともコンクリートの強度および温度上昇の仕様を満足するため、経済的である中庸熱フライアッシュセメントを用いることとした。

3. 現場施工性実験

3.1 実験の目的

室内試験および予備施工性実験の結果を踏まえて、実施工で使用する材料および実機プラントを用いて製造し、施工したRCCの品質を、現場のヤードにおいて再度確認することとした。この施工実験では、コンクリート配合の再確認（VC値が20, 30, 40秒の比較）と、転圧リフト高（3層敷均し75cm、4層敷均し100cm）、転圧回数（0～10回）、継目処理方法（レイタンスの処理の有無）、ダンブ処理走行（走行時にシート防護、鉄筋防護、無対策）による打継面への影響などの調査を目的とした。

表-4 実材料を用いた室内試験練りの結果

No.	G _{max} (mm)	VC値 (秒)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	Adm.
A	40	20	1.5	80.8	32	105	130	681	1492	0.325
B		30		76.9		100		685	1502	
C		40		73.1		95		689	1510	

3.2 材料および配合

セメントは中庸熱フライアッシュセメント（F／(C+F) = 0.3）、細骨材は海砂と砕砂の混合、粗骨材は砕石4020と砕石2005の混合、混和剤はAE減水剤遅延形で、前節の施工実験に用いたものと同種であるがロットの異なるものである。配合は表-4に示すようにVC値

表-5 RCCコンクリートの品質試験結果

リフト No	配合	フルイサイズ試料		ウェットスクリーニング試料*		圧 縮 強 度 (kgf/cm ²)				単位容積** 質 量 (t/m ³)
		VC値 (秒)	空気量 (%)	VC値 (秒)	空気量 (%)	材 令 (日)				
						7	28	63	91	
1	A	10	1.3	9	1.7	48.3	97.5	164	188	2.91
	B	37	1.2	26	1.4	51.5	95.2	156	183	2.40
	C	42	1.5	34	1.5	65.3	126	210	243	2.41
2	A	14	1.3	-	-	52.7	114	161	190	2.39
	B	22	1.4	-	-	64.4	114	193	233	2.41
	C	31	1.5	-	-	75.3	130	214	243	2.41

VC値、空気量：試験結果の平均、*：25mmフルイを使用、**：材令7日標準養生供試体。

30秒とするための単位水量は海砂に砕砂を混合して微粒分の増加を図ったため、100 kg/m³ となり、これに対して単位水量5kg/m³の変化でVC値は約10秒増減する傾向が得られた。

3.3 施工法と測定内容

コンクリートの製造は最大容量 6m³ の2軸強制練りミキサを用いて4.5 m³ を練りまぜ、11 ton ダンプトラックで運搬後、7.4tonブルドーザで敷均し、振動ローラー（BW-200）により転圧する方法とした。測定内容は、施工性調査として、骨材分離状況観察、粗骨材破損状況調査、施工能率の測定、転圧沈下量の測定、表面状態（ウエーピング等）の調査を行い、コンクリート品質調査として、VC値、空気量、強度、温度測定など打設コンクリート品質、RI密度計によるコンクリート密度測定およびコア表面状態観察、コアの圧縮強度、単位重量の測定などを

行った。また、打継部の品質調査として、ダンプトラック走行による表面沈下測定と表面状態観察、および打継部せん断強度、圧縮強度の測定を行った。

3.4 実験結果および考察

コンクリートの品質試験結果を表-5に示す。コンクリートのVC値および空気量はほぼ所定の値となっており、圧縮強度は室内試験の結果とほぼ同等であった。VC値については、フルサイズのVC値と25mmフルイでウエットスクリーニングしたコンクリートのVC値には図-2に示すような相関が認められた。

図-3は転圧回数と沈下量の関係である。コンクリート面の沈下は初期の振動転圧で大きく、徐々に小さくなる。また、沈下量とコンクリート配合には明確な関連は認められなかった。配合別のコア強度および単位容積

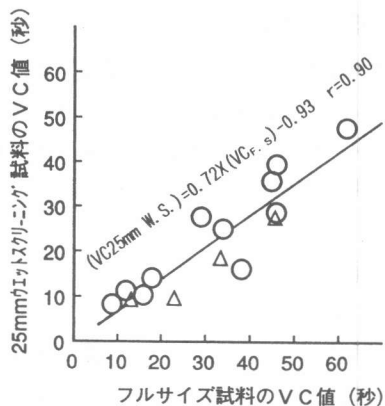


図-2 フルサイズとウエットスクリーニングのVC値

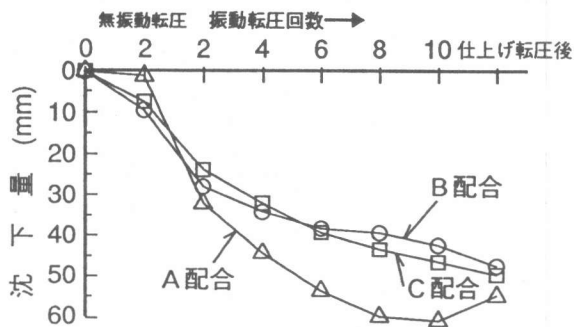


図-3 配合別の転圧回数と沈下量

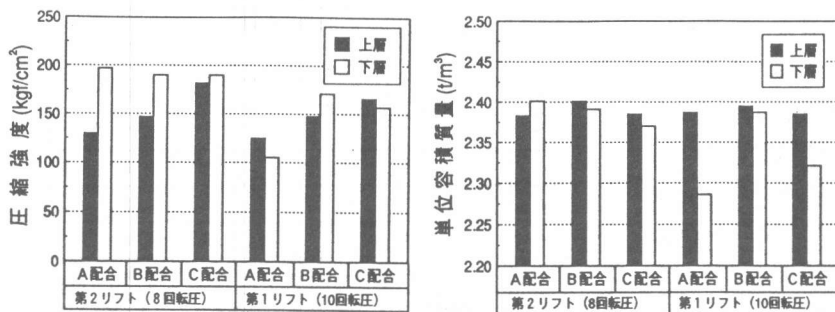


図-4 配合別のコア強度および単位容積質量

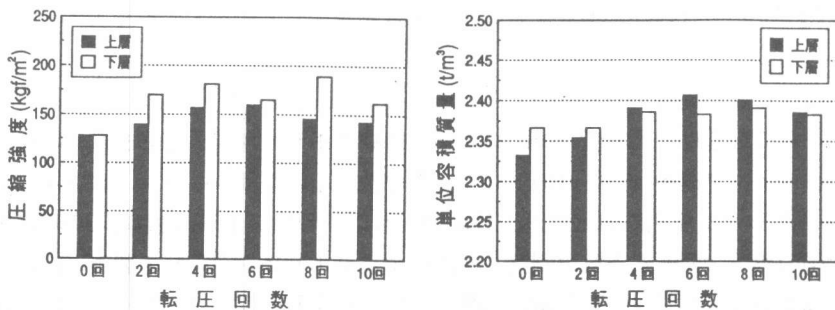


図-5 転圧回数とコア強度、単位容積質量

質量の測定結果を図-4に示す。硬練りのC配合の方がA配合よりも上下の強度差が小さく強度も若干高くなる傾向であった。転圧回数とコア強度および単位容積質量の関係を図-5に示す。転圧回数も6回以上ではほぼ安定した値が得られたのは前述と同様の結果であった。

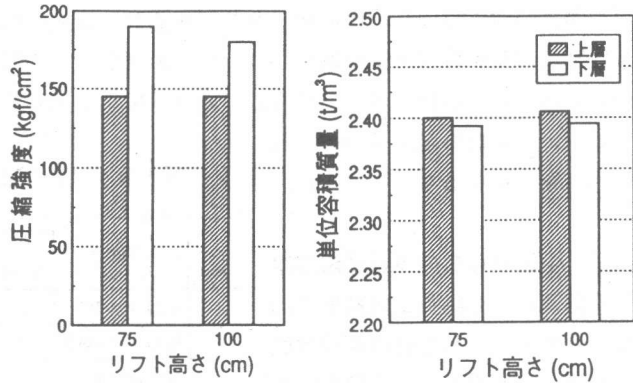


図-6 転圧方法とコア強度, 単位容積質量

なお, 図-6に示すように, リフト厚が異なっても圧縮強度に明

確な差はないことが認められた。また, 打継部のせん断強度は, レイタンスの処理と敷モルタルで十分な値が得られること, 打設翌日のダンプ走行は特に問題のないことが確認できた。

以上の結果を総合的に判断して, 実施工では1回のリフト厚は3層敷均しの750 ~ 850 mmとし, 目標VC値は30秒とした。なお, VC値の管理幅は, ウェットスクリーニングした試料で20 ± 10秒とする従来のRCCの施工に従い, 図-2からフルサイズの場合に対し30 ± 15秒とした。

4. RCCの施工

4.1 工事の概要

RCCは, アンカレイジ基礎の底詰め部(約16,500m³)および中詰部に(約216,000 m³)に適用した。施工は, 直径76.6m(底詰は80.6m)を2分割し, 前日に打設を行った面にバケットクレーンでコンクリートを搬入し, 20t ダンプで打設面へ運搬した。コンクリートの敷均し, 転圧は16t ブルドーザ2台とBW-200を3台用いて, 全体の面積の1/2を1日の施工分とし, 1日の作業面積を6区画に分けて施工した。施工面積は底詰め部は2551 m²(リフト高さ667 mm), 中詰め部は2304 m²(リフト厚750 ~ 850mm)とした。従って1日あたりのRCCの打設量は, 1700 m³ ~ 1960m³ 程度である。

4.2 底詰めRCCの品質試験結果

VC値, 空気量, 圧縮強度の結果を図-7に示す。VC値は管理基準値を満足するものの比較的変動は大きく, 一方空気量は比較的安定している。圧縮強度は材令7, 28, 91日とも変動係数は6.4 ~ 7.6 %の範囲で, 目標強度を十分満足する結果であった。

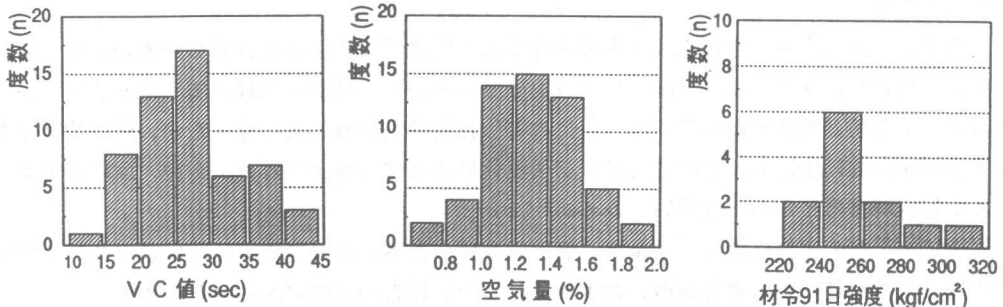


図-7 底詰めRCCの品質管理結果

現地測定の下量は平均値32mm（サンプル数27，最大64mm，最小13mm，標準偏差13.5）で，R I 密度計による単位容積質量は平均 2.41 t/m³（サンプル数13，最大2.60，最小2.35，標準偏差 0.04）であった。各部位のコア強度は，表-6に示すように採取位置により若干異なった結果となったが，いずれも設計基準強度90 kgf/cm² を満足するものであった。

表-6 コアの強度試験結果（底詰め，材令91日）

コア No.	コア採取位置	試験数量	圧縮強度 (kgf/cm ²)			単位容積質量 (t/m ³)		
			平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
1	転圧レーンの中央	3	142	145	141	2.36	2.41	2.31
2	転圧レーンの継ぎ目	2	238	242	234	2.39	2.40	2.38
3	東西カマの継ぎ目	5	175	218	126	2.40	2.43	2.39
1~3	上層	5	185	242	141	2.38	2.41	2.31
	下層	5	171	234	126	2.40	2.43	2.36

4.3 中詰RCCの品質試験結果
 中詰部RCCの品質試験結果を図-8にまとめた。VC値の変動は底詰部RCCより大きく，圧縮強度の変動係数も若干大きく，12.4~12.7%となった。しかし，圧縮強度については材令28日の平均値が144 kgf/cm² と底詰部RCCと比較してかなり大きな値が得られ，設計値を十分満足する結果となった。コアの圧縮強度および単位容積質量は表-7に示すように，設計基準強度を大幅に上回る値となり，上下層の品質の差も20%程度の差におさまることが認められた。

表-7 コアの強度試験結果（中詰め，材令91日）

コア No.	コア採取位置	試験数量	圧縮強度 (kgf/cm ²)			単位容積質量 (t/m ³)		
			平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
1	転圧レーンの継ぎ目	4	215	245	190	2.38	2.41	2.34
2	転圧レーンの中央	4	217	242	186	2.37	2.41	2.33
3	転圧レーンの中央	2	232	243	220	2.38	2.41	2.35
1~3	上層	8	226	245	195	2.39	2.41	2.35
	下層	2	188	190	186	2.34	2.34	2.39

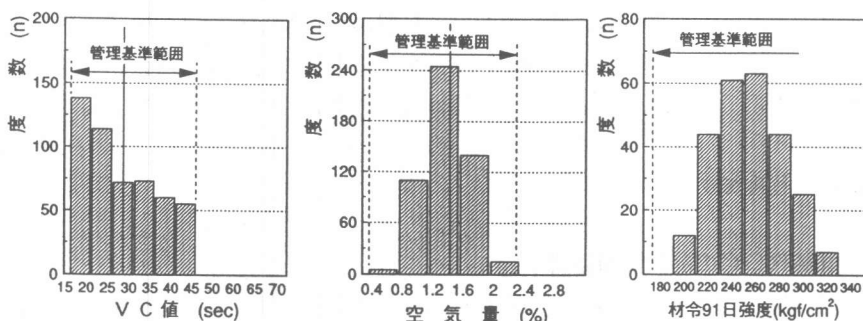


図-8 中詰めRCCの品質管理結果

5. まとめ

室内試験，施工実験，現場施工性実験を踏まえて底詰部，中詰部にRCCを約23万m³適用した結果，粗骨材の最大寸法が40mmの転圧コンクリートがVC値30±15秒で施工できることが実証された。VC値は施工性からやや小さ目に片寄った管理を行うことになったが，圧縮強度は設計基準強度を大幅に上回り，このことはコア供試体によっても確認された。今後，同種の工事において本報告が参考とされれば幸いである。

最後に本工事の実施に際し，ご指導，御助言を頂いた本州四国連絡橋公団構造マスコンクリート委員会（委員長 長瀬重義教授）の委員をはじめ関係者の皆様に深謝いたします。

参考文献：[1] 国土開発技術研究センター編：改訂RCD工法技術指針（案），平成1年8月