

[1039] 超硬練り高強度コンクリートの特性

吉兼亨\*1・鯉江利夫\*2・松下正美\*3・石原康英\*4

1. まえがき

道路整備が進みストックも増大し、その結果維持修繕工事の占める割合が増加しつつある背景から、コンクリート舗装の薄層オーバーレイや橋梁におけるコンクリート床版の増厚工法が多く行われるようになった。この目的に適合するコンクリートとして高強度で耐摩耗性が高く、かつ工事に伴う交通渋滞による社会的損失を低減するため、早期に強度が発現するコンクリートが望まれている。またそのニーズに応えるため、通常は超速硬セメントを用いたコンクリートによる施工が行われるが、普通セメントを用いたコンクリートの施工は早期強度発現に無理があり用いられていなかった。現在、普通セメントでも比較的早期強度の高い超硬練りコンクリートとして転圧コンクリート（以下、RCCとする）があるが、コンクリートの薄層オーバーレイ用としては、鉄筋の挿入や鋼繊維の補強が困難で、且つ若干の空隙存在や配合上セメント量を増加させることに無理があり、薄層オーバーレイに適用することはできないものである。この様な背景から、コンクリートの混合および施工に工夫をこらし、普通セメントを用いた超硬練りコンクリートによる早期高強度の発現で解決を図ったのが本報告の超硬練り高強度コンクリート（以下、HCC[High Vibration Compacted Concrete]とする）である。

2. HCCの原理

一般に低水セメント比でスランプが0cm以下のフレッシュコンクリートは、コンクリート自体の粘性が著しく増大し、スラブ状に施工するには敷均し、成形、締固めが容易でなく場所打ちコンクリートとするには至らなかった[1][2][3]。一方、RCCのように超硬練りでも水量、セメント量の少ないコンクリートでは敷均し、成形、締固め上の制約からセメント量の上限があり、かつ現時点ではコンクリート中の空隙率を0に近づけることは不可能である。そこでこの解決のために、フレッシュコンクリートを低水セメント比のモルタルで粗骨材を核とした団粒状の混合物とすることにより敷均し性を高め、締固め時には高振動下においてモルタル分が流動化するよう混和剤を混合時に配することにより、高密度（基本的には零空隙）のコンクリートを得る方法を見出した。これにより普通セメントと通常の骨材で28日圧縮強度 約1,000 kgf/cm<sup>2</sup>、28日曲げ強度110kgf/cm<sup>2</sup>を得ることも可能となった。このコンクリートの概念を他のコンクリートと対比して示したものが図-1である。

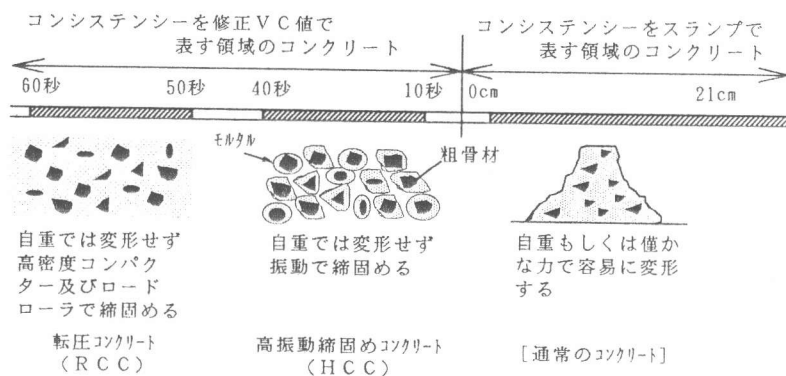


図-1 フレッシュコンクリートの概念

\* 1 大有建設(株) 技術本部長(正会員) \* 2 大有建設(株) 中央研究所長  
 \* 3 大有建設(株) 中央研究所係長 \* 4 大有建設(株) 中央研究所主任

なお、このHCCのコンシステンシーはRCCに用いる修正VC値で表わすと、およそ10～40秒の範囲で、スランプ0cmのコンクリートとRCCP用コンクリートの中間の領域に位置するものである。

### 3. 実験概要

HCCの用途は版状のコンクリートを製造、施工するのに適しているので、舗装、既設コンクリート版の薄層オーバーレイ、コンクリート床版の増厚などの工法を対象としたコンクリートの実験を行った。

#### 3. 1 実験項目

本実験は、以下に示す項目について行なった。

##### (1) フレッシュコンクリートの物性

①単位水量とコンシステンシーの関係 ②締固め特性 ③コンシステンシーの経時変化

##### (2) 硬化コンクリートの物性

①圧縮・曲げ強度等の力学的特性 ②乾燥収縮率 ③摩耗抵抗性

#### 3. 2 試験方法

コンクリートの試験方法を表-1に示す。ここでコンシステンシーの試験としてVC振動締固め試験を採用したのは、超硬練りコンクリートの場合通常用いられるスランプ試験(JIS A 1101)では測定できない領域のもので、練上がり時の状態からすればプラスチックなコンクリートよりもRCCに近いものであることによる。

表-1 コンクリートの試験方法

区分	試験	規格
フレッシュ コンクリート	VC振動 締固め試験	転圧コンクリート舗装技術指針(案) 付録5 (日本道路協会)
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108
	曲げ強度	JIS A 1106
	乾燥収縮率	JIS A 1129(コパレーター方法)
	摩耗抵抗性	日本道路協会(回転摩耗型)

#### 3. 3 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.15、比表面積3220cm<sup>2</sup>/g、U社製)、混和剤は芳香族アミノスルホン酸系高分子化合物の高性能AE減水剤(P社製)、鋼繊維はJIS G 3532、SWM-Bの鋼線φ0.6×30mm(K社製)を使用し、細骨材および粗骨材は表-2に示すものを使用した。

表-2 骨材の種類と物性値

区分	種類	産地	最大寸法 (mm)	絶乾 比重	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	粒形判定 実積率 (%)
細骨材	川砂	町屋川 (三重県)	5	2.52	1.60	3.05	66.3	-
粗骨材	碎石 (硬質砂岩)	養老 (岐阜県)	20	2.63	0.55	6.70	60.5	58.8

#### 3. 4 コンクリートの練混ぜおよび供試体の成型方法

##### (1) コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、強制練り二軸ミキサー(100ℓ)を用い、実験は60ℓ練りとした。

- ①HCCおよび通常の舗装用コンクリート(以下、CCとする)；骨材投入後20秒空練りを行い、水、混和剤を投入し、その後3分間練混ぜた。
- ②鋼繊維補強HCC(以下、SF-HCCとする)および通常の鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRCとする)；骨材投入後20秒空練りを行い、水、混和剤を投入し、その後2分間練混ぜ、更に鋼繊維を投入し1分間練混ぜた。

(2) 供試体の成型方法

- ① HCCおよびSF-HCC；硬化コンクリートの供試体は、圧縮試験用はφ10×20cm、曲げ試験用は10×10×40cmのものとし、成型は③に示す振動条件により行った。
- ② CCおよびSFRC；CCはJIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」により、SFRCは、土木学会規準（JSCE-1983）の「鋼繊維補強コンクリートの強度試験用供試体の作り方」によった。
- ③ HCCの振動締固め条件；振動機による締固めにおいて振動数及び振幅を変化させ締固めを行った。なお、試験に用いたコンクリートの配合はW/C=25%，W=120kg/m<sup>3</sup>，s/a=40%のもので、振動機は10×40cm、厚み9mmの鉄板を底部に付帯した電動回転式振動機（総重量：19kg）を用い60秒間振動締固めを行った。

図-2より充填率99%以上に達する領域における振動数と振幅であればどのような組み合わせでも良いこととなる。実験には主として振動数3600vpm、振幅2mmを用いた。なお限界線よりも上方に1000vpm程度以上高い振動数を用いる場合には、過剰締固めでコンクリート表面にひび割れの発生するケースもある。そのような場合には加振時間を短縮するのの一つの方法である。

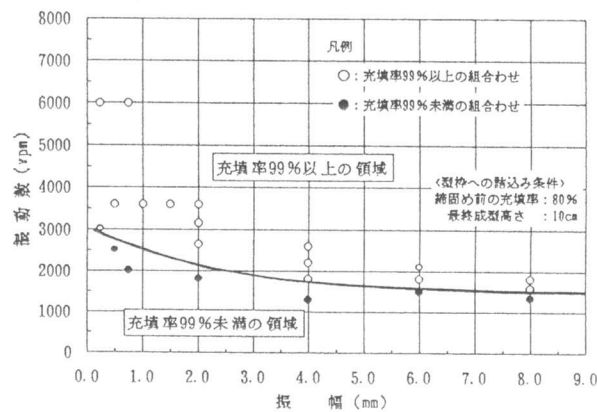


図-2 振動条件と充填率との関係

4. 実験結果と考察

4.1 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コンシステンシーおよび締固め率の測定に供したコンクリートの配合は、硬化後に高強度となるものを対象としていることから、水セメント比25、30および35%とし、単位水量を100~140kg/m<sup>3</sup>の範囲で変化させた表-3に示す配合のものとした。なお、細骨材率は予備実験の結果、分離抵抗性および充填性を考慮し40%と定めた。

表-3 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (%/C)
		W	C	S	G	
25	40	100	400	795	1229	1.5
		110	440	771	1193	
		120	480	748	1158	
		130	520	725	1121	
		140	560	701	1084	
30	40	100	333	816	1262	
		110	367	795	1230	
		120	400	774	1197	
35	40	100	286	832	1286	
		110	314	812	1256	

(1) 単位水量によるコンシステンシーの変化

表-3に示した配合で混練りしコンシステンシーを測定した結果を図-3に示す。図-3から、およそ修正VC値10~40秒ではフレッシュコンクリートが団粒化状態となることが確認された(写真-2)。しかし、40秒以上では分散状態となり(写真-3)、修正VC値10秒未満では予備実験の結果から、連続状態(写真-1)となることを確認している。

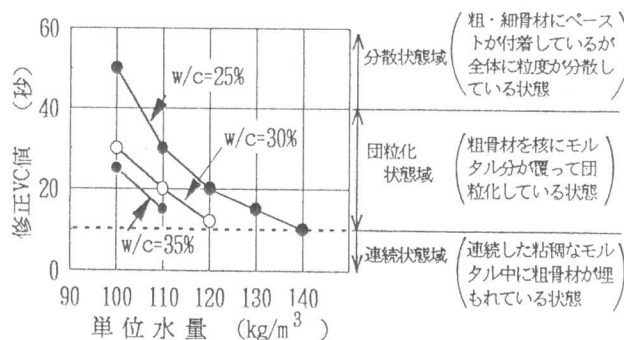


図-3 単位水量とコンシステンシーの関係

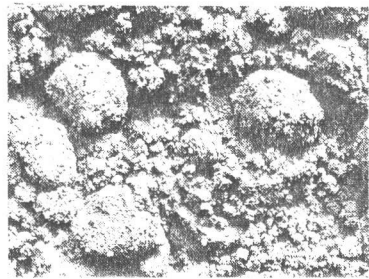
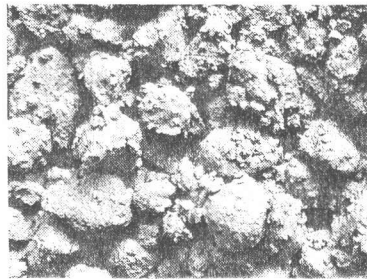
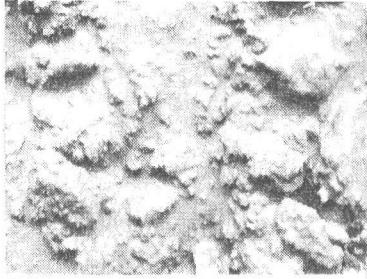


写真-1 修正VC値10秒未満

写真-2 修正VC値20秒

写真-3 修正VC値40秒以上

(2) 練上がり温度および経過時間によるコンシステンシーの変化

図-4に、水セメント比25%で練上り温度20℃の場合と、水セメント比30%で練上り温度20、35℃の場合のコンシステンシーの経時変化を示す。なお、35℃時の場合は練上り時の修正VC値が5秒大きくなるので、コンシステンシーを同一にするため、単位水量を115kg/m<sup>3</sup>としたものも測定した。図から、練上がり温度20℃では水セメント比25%、30%ともに60分以降にコンシステンシーの増加の割合が大きくなっている。これに比べ、水セメント比30%の練上がり温度35℃では同一単位水量のもの、単位水量を増加したものとも40分以降の、コンシステンシーの増加割合が大きくなっている。

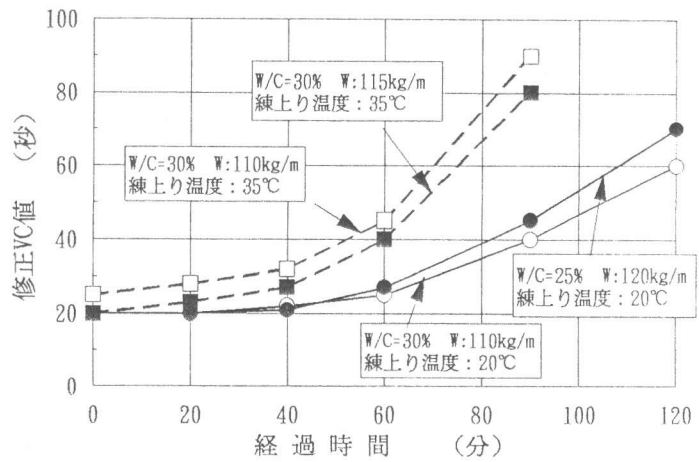


図-4 修正VC値の経時変化

4.2 硬化コンクリートの物性

硬化コンクリートの物性は、HCCで修正VC値が20秒となる単位水量で表-3の配合の水セメント比25%および30%について、実験を行った。更に、水セメント比30%のSF-HCCについても、修正VC値20秒となる配合で実験した。また、道路舗装としての特徴を把握するため、SFRC、CCおよびRCCとの比較を行った。それらを表-4に示し硬化コンクリートの物性試験に用いた。

表-4 硬化コンクリート試験の配合

種類	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (%/C)	鋼繊維 (kg/m <sup>3</sup> )	コンシステンシー	
			W	C	S	G			修正VC値 (秒)	スランプ (cm)
HCC	25	40	120	480	748	1158	1.5	-	20	-
	30	40	110	367	795	1230			20	-
	30	45	120	400	871	1098			60	20
SFRC	45	60	180	400	1007	692	1.5	100	-	6.5
CC	42	35	142	338	640	1225	※ 0.2	-	-	2.5
RCC	40	42	105	263	876	1247	※ 0.2	-	55	-

※ AE減水剤、他は高性能AE減水剤

(1)強度特性

HCCとSFRC、CCおよびRCCの強度発現性を比較し、図-5に示す。

水セメント比30%のSF-HCCとSFRCの曲げ強度を比較すると、材令1日でSFRCは22kgf/cm<sup>2</sup>であるのに対し、HCCは51kgf/cm<sup>2</sup>と、約2.3倍、RCCに対しては1.9倍の強度発現となっている。同様に圧縮強度の場合は何れの舗装用コンクリートに対しても、約2倍と高い強度となっている。従って、HCCは早期強度の発現性に優れたコンクリートといえる。

次に、材令28日における曲げ強度はHCCで99kgf/cm<sup>2</sup>、SFRCでは78kgf/cm<sup>2</sup>であり、約1.3倍の強度発現となっている。また圧縮強度についても同様のことがいえる。

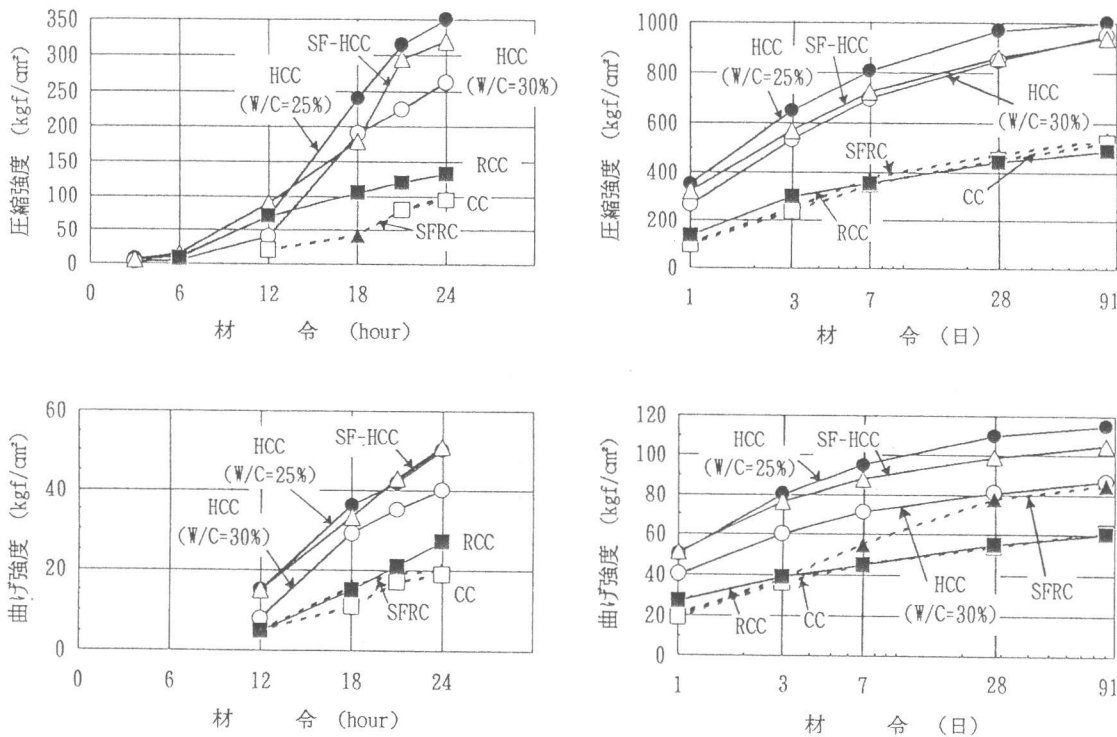


図-5 材令と圧縮および曲げ強度の関係

(2)乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮を測定した結果を図-6に示す。

図-6から分かるように、HCCの収縮率はCCに比べ小さくなっている。更にSF-HCCで比較すると、全経過日数を通し、20%以上の乾燥収縮率の低減となっている。したがって、HCCを道路舗装に適用した場合、収縮目地間隔を若干長くとることができるといえる。

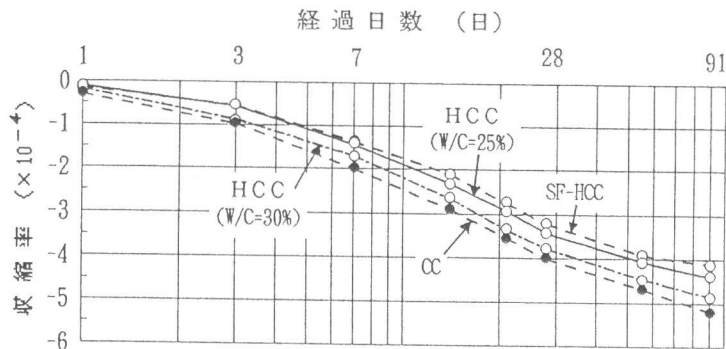


図-6 乾燥収縮

### (3) 摩耗抵抗性

図-7に摩耗抵抗性試験の結果を示す。摩耗試験時間30時間後の摩耗量は、HCCで1.2mm、CCでは3.8mmと、CCに比べHCCの摩耗量は約3分の1にとどまっていることから、HCCはCCに比べ、約3倍以上の耐摩耗性があり、より長期にわたり安定した路面を維持できるものといえる。

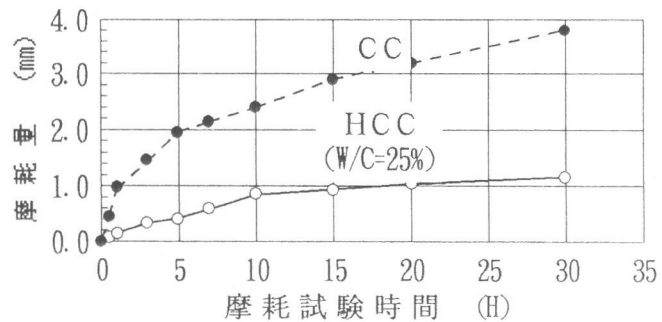


図-7 HCCの摩耗抵抗性

### 5. まとめ

以上の実験で得られた結果から次のようなことがいえる。

- (1) 超硬練り低水セメント比のフレッシュコンクリートを粗骨材を核としたモルタルで団粒化状の混合物とし、振動によって流動化するよう混和剤を配することで充填性の高い水密性のコンクリート体とすることができ、高強度(圧縮1000kgf/cm<sup>2</sup>、曲げ110kgf/cm<sup>2</sup>程度)を得る。
- (2) コンシステンシーの評価はVC振動締め試験(修正VC値)で行ったところ、施工性、緻密性を考えると10~40秒の修正VC値が適当である。
- (3) 温度変化に伴うコンシステンシーの経時変化は、20℃では少ないが、35℃の場合に増大する傾向を示す。したがって夏期施工時のハンドリングタイムには十分留意する必要がある。
- (4) 単位水量の少ない配合となるため、等強度のコンクリート体を得るためのセメント量が削減され、経済的となる。
- (5) 初期強度の発現性が高いことから、舗装や増厚用コンクリートとして用いれば、施工後24時間(20℃)での早期交通開放が可能である。
- (6) 乾燥収縮率は通常の舗装コンクリートより小さく、鋼繊維補強とすれば、更に20%程度小さくなる。
- (7) 摩耗に対する抵抗性が高く、通常の舗装コンクリートに比べ約3倍となり、耐久性に優れている。
- (8) 鋼繊維の混入が容易であることから、コンクリートの薄層施工に有効である。

以上から、超硬練り高強度コンクリート(HCC)は、早期開放を求める舗装や増厚用コンクリートおよびコンクリート二次製品への適用に効果があると考えられる。

### 参考文献

- [1] 木村恵雄ほか1名：超かた練りコンクリートの強度について、セメント技術年報, Vol. 17, P352~358, 1963. 5
- [2] 山本実ほか2名：超かた練りコンクリートブロックの研究(その1) 圧縮強度について、セメント・コンクリート, No. 251, P23~29, 1968. 1
- [3] 荒木謙一ほか2名：超かた練りコンクリートの配合と締め固め条件に関する基礎研究、セメント技術年報, Vol. 23, P362~369, 1969. 5