

凝結及び硬化初期に熱及び移動輪による繰り返し荷重を受けた超硬練りコンクリートの性状

吉兼 亨¹ ・ 鯉江利夫² ・ 中島佳郎³ ・ 木村隆之⁴

1.正会員 工博 大有建設株式会社 工事本部 (〒460 名古屋市中区金山 5-14-2)

2.3.4. 大有建設株式会社 中央研究所 (〒454 名古屋市中川区十番町 6-12)

早期開放型コンポジット舗装工法では、コンクリートの凝結や初期硬化状態の時期に、加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイによる熱及びローラ転圧作用を受け、更に、早期に交通に供することにより、コンクリートの硬化初期の若材齢時に交通荷重の影響を受ける。

本研究では、実大実験結果も含めて、高い振動エネルギーで締固めた超硬練りコンクリートが、締固め直後において、外力による塑性変形が容易に生じないことを示すとともに、超硬練りコンクリートの打設後に養生時間を殆ど置かず、熱や移動輪荷重による繰り返し載荷の作用を与えても、変形やひび割れが生ぜずコンクリートの曲げ強度の発現や水和反応が促進する効果のあることを明らかにした。

Key Words : *fresh concrete, tough mixed concrete, composite pavement, repeated loading, heat action, quick execution method*

1. 目的

版状のコンクリートとしての超硬練り高振動締固めコンクリート (以下、**high vibration compacted concrete** を **HCC**と略記) に関して、フレッシュ及び硬化コンクリートの一般的な性状については、既に報告^{1,2)}した。それらの結果からこのコンクリートを舗装などに用いた場合、その強度発現の状況からみて、超高強度コンクリートとして適用できることはもとより、普通セメントを用いた場合でも、施工 24 時間後には自動車交通に開放できる、いわゆる **one-day** コンクリートとして用い得ることをも示した。しかし、わが国の道路舗装はそのストック量が増大し、新設よりは補修の工事が多くなり、その結果、舗装修繕工事に伴う、交通規制による時間的、経済的などの社会的損失削減へのニーズが高い。

このような背景から、筆者らは先に報告した超硬練りコンクリートが、締固め直後の時点においても、通常のコンクリートのように外力による塑性変形を生ずることなく、機械的に高い支持力を有する性質を明らかにするとともに、図-1、図-2に示す早期開放型コンポジット舗装工法としての可能性を検討するために本研究を行った。即ち、コンクリートの打設後殆ど養生時間を置かず、加熱アスファルトコンクリートを施工し、そ

の際の熱とロードローラによる転圧(以下、ローリングと略記)作用及び、交通荷重としての移動輪による繰り返し載荷の作用をあたえた場合、その作用がHCCの不陸やひび割れの発生、強度の発現及びセメントの水和反応に及ぼす影響を、室内試験及び実大試験により調べた。

2. HCCの概要

HCCに関しての基礎的な性状及び施工性については既に報告^{1,2)}済であるが、本研究の理解を補うために、ごく簡単にその概要を述べる。

図-3に示すようにコンシステンシーがスランプで表され、可塑性が高く重力による変形が容易な領域に属している通常のコンクリート (以下、普通コンクリートと略記) と、コンシステンシーが修正VC値 50 秒程度以上で表される領域に属している転圧コンクリート (以下、**RCC**と略記) との中間の領域に位置づけられるコンクリートがHCCで、コンシステンシーは修正VC値で表され、およそ 10 秒~40 秒の範囲のコンクリートである。

また、フレッシュコンクリートの状態では、普通コンクリートのようにモルタル分が連続相を形成している状態と、RCCのようにモルタル分が分散状態で不連続

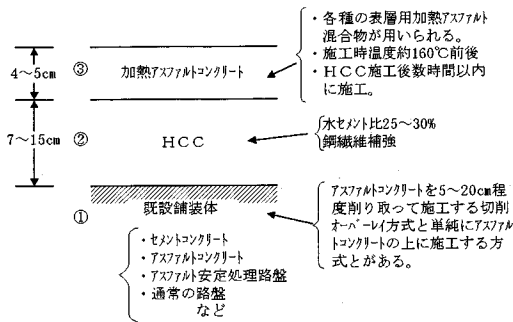


図-1 HCC迅速コンポジット舗装の断面

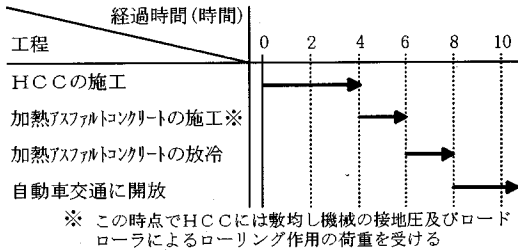


図-2 HCC迅速コンポジット舗装の工程

相を形成している状態との中間の状態がHCCで、粗骨材を核としてモルタルがその粒子を覆い、粗骨材粒ごとに団粒化しているのが特徴である。

3. 使用材料及びコンクリートの配合

(1) 使用材料

実験に使用した材料の試験結果を表-1及び表-2に示す。なお、表に示さなかったコンクリート用化学混和剤はF.P社製高性能減水剤FP 200Sを、鋼繊維はBS社製で直径0.6mm、長さ30mmを用いた。

(2) HCCの配合

実験に用いたHCCの配合を表-3に示す。なお、2種類の配合間の相違は補強用鋼繊維の量が配合Iで60kg/m³、配合IIで100kg/m³であり、このため単位水量は配合IIの方が5kg/m³だけ大きい。前者は初期ひび割れ防止のための添加量であり、100kg/m³は補強を主体とした場合の繊維量である。実験は強度的に影響を受けやすい配合Iを主体に行った。

4. 室内実験の方法及び項目

(1) 供試体の作成及び載荷条件

実験は条件により次の3種類の供試体について比較

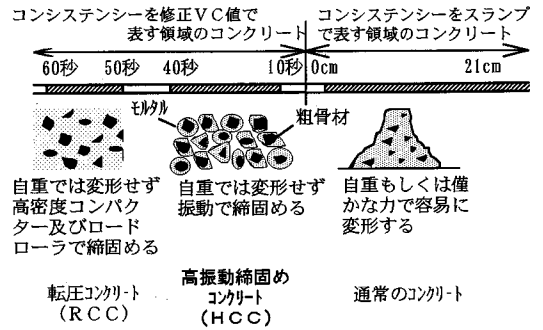


図-3 フレッシュコンクリートの概念

表-1 骨材試験結果

区分	種類	産地	最大粒径(mm)	絶対比重	吸水率(%)	粗粒率	粒形判定実積率(%)
細骨材	川砂	町屋川(三重県)	5	2.52	1.6	3.05	-
粗骨材	碎石(硬砂岩)	養老(岐阜県)	20	2.63	0.55	6.7	58.8

表-2 セメント試験結果

セメントの種類	比重	比表面積(g/cm ²)	凝結(h:min)		圧縮強さ(N/mm ²)		
			始発	終結	3日	7日	28日
普通	3.15	3190	2:04~2:25	3:32~4:05	15.89	26.09	41.58

表-3 HCCの配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				高性能減水剤	
			W	C*	S	G		
配合I	30	45	130	433	828	1041	60	C×1.5%
配合II	30	45	135	450	810	1018	100	

※普通ポルトランドセメントを使用

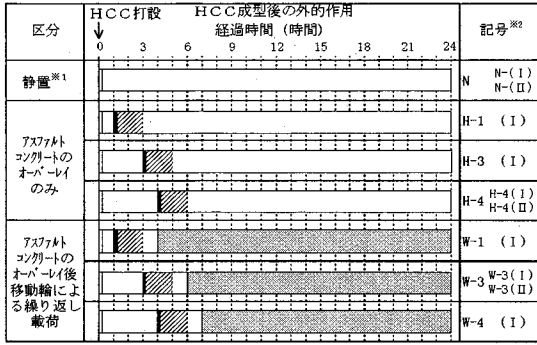
S: 細骨材, G: 粗骨材, SF: 鋼繊維

試験を行った。

- HCCを打設後そのまま静置した供試体(他の供試体の実験中は同じ室内に静置)。(図-4参照)
- HCCを打設後1~4時間を経た時点で加熱アスファルトコンクリートをオーバーレイのうえ転圧し、そのまま静置した供試体。(図-4参照)
- 供試体を②と同じ条件で作成し、HCC打設後4時間以後から図-5に示す載荷試験装置を用い、移動輪による繰り返し載荷を24時間後まで継続した供試体。

これらの試験条件の関係を図-4に示した。以下の実験における試験条件の組合せごとの供試体の記号は、同図に示したものを用いる。なお、供試体の成型条件は次の通り。

- 供試体の形状寸法: 30×30×厚さ10cm (HCC=6cm, アスファルトコンクリート4cmの厚さ)



※1 オーバーレイ後放冷までの時間以外はすべて30℃
 ※2 ()内の数字は配合の区別



図-4 実験における試験条件の組合せと記号

(但し、曲げ試験時には幅10cmに切斷、アスファルト層は除去)

- ・加熱アスファルトコンクリートの種類：最大骨材寸法13mm、密粒度型
- ・オーバーレイ時アスファルトコンクリートの温度：160℃
- ・オーバーレイの締固め：ローラーコンパクターによる(線荷重294N/cm)
- ・移動輪による繰返し繰返し荷重方法：ホイールトラッキング試験機によるニーディング(図-5参照)，接地圧0.63N/mm²(実際のトラックタイヤの接地圧に近似)

(2) 加熱アスファルトコンクリートをオーバーレイした場合の熱の伝達状況

HCCを成型1時間後に、加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイを施した場合の熱の伝達状況を図-6に示す。それによれば敷均し時のアスファルトコンクリートの温度が160℃であったが、アスファルトコンクリート表面及び層の中央部では15分後には100℃を下回る。この間にアスファルトコンクリートの締固めは数分で完了している。また、HCCとの界面においては、アスファルトコンクリートの敷均し直後であっても90℃を示すに過ぎず、数分後には80℃以下となる。なお、夏期におけるアスファルトコンクリートの路面温度の最大値とされている60℃以下となるのはオーバーレイ後40分で、更に2時間後には、アスファルトコンクリートとHCCとの界面における温度は、室温との差が10℃程度の40℃まで低下している。

このように加熱アスファルトコンクリートの界面付近のHCCの温度が90℃以上に上昇しない理由として

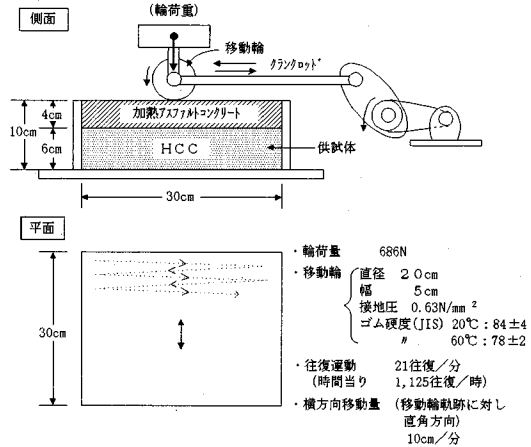


図-5 移動輪による繰返し繰返し荷重試験装置 (ホイールトラッキング試験機を使用)

表-4 試験項目とその特性値

No.	試験の目的	試験方法	特性値
①	締固めから強度発生までの支持力	CBR試験法(JIS A 1211) 一種のプロクター貫入抵抗試験	貫入抵抗比
②	初期荷重がHCCの強度発現に及ぼす影響	移動輪による繰返し繰返し荷重装置による交通荷重荷重のシミュレーション(図-5参照)	曲げ強度
③	セメント水和物の結晶の発達度合い	粉末X線回折分析※(回転対極型X線回折装置)	水酸化カルシウムのピーク
④	"	電子顕微鏡写真※(走査型電子顕微鏡: SEM)	水酸化カルシウムの結晶の発達状況
⑤	水和物の間隙の変化	細孔径分布の測定※(水銀圧入式測定器)	細孔径分布

※ ③, ④, ⑤の試料は②の実験の所定材齢時の曲げ試験終了後の供試体から採取したもので行った。

は、HCC中の水はその時点では未だごく一部しかセメント水和物化しておらず、したがってコンクリート質量の6%強(単位水量と骨材中の吸水量を合わせて)を占める水の比熱が、骨材の比熱に比べて大きいことから、HCCの比熱が、水分を含まないアスファルトコンクリートの比熱に比べて大きい(この場合のHCCの比熱は約0.26、アスファルトコンクリートの比熱は約0.22のため、前者は約20%程大きい)ことが影響しているものと推定される。また、HCCと接触の瞬間にアスファルトコンクリート側の温度が急激に低下するのは、接触面の水膜などの影響に加えて計測器の計測時間間隔(この実験では1分)などの影響とみられる。

また、HCC層の上下面の温度差は、HCC打設1.5時間後には20℃以下となっているが、それより短い時間では少し温度差が大きくなっている。しかし、その時点ではHCCはまだ凝結が始まっていないか、あるいは初期の段階とみられ、コンクリート内部では強度の発生に至っていないので、HCC層の上下面の温度差に基づく熱応力も発生していない状態とみられる。

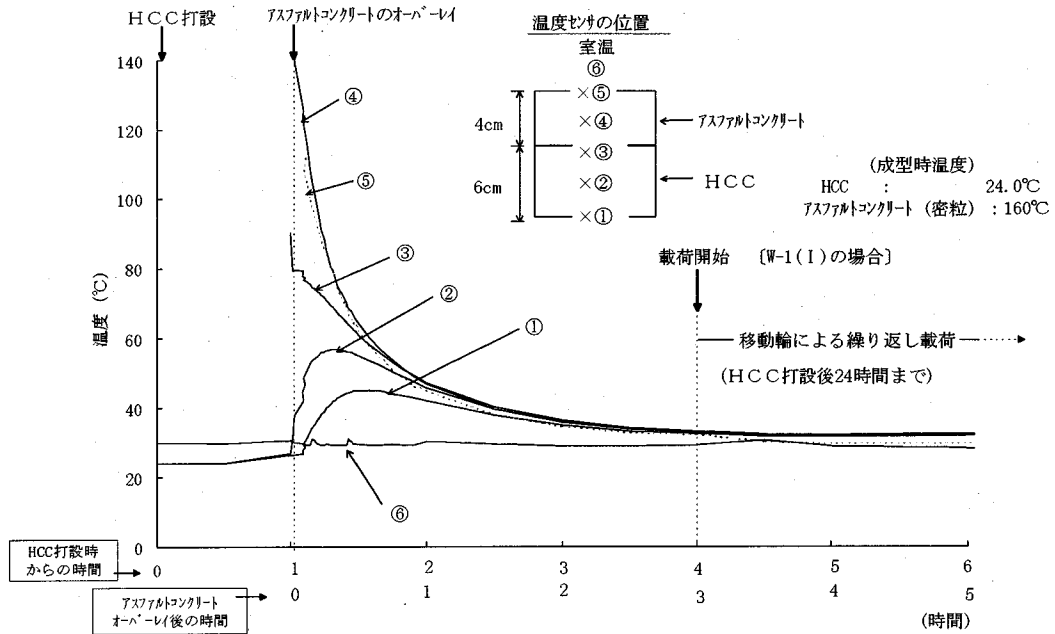


図-6 供試体各部における経過時間と温度との関係

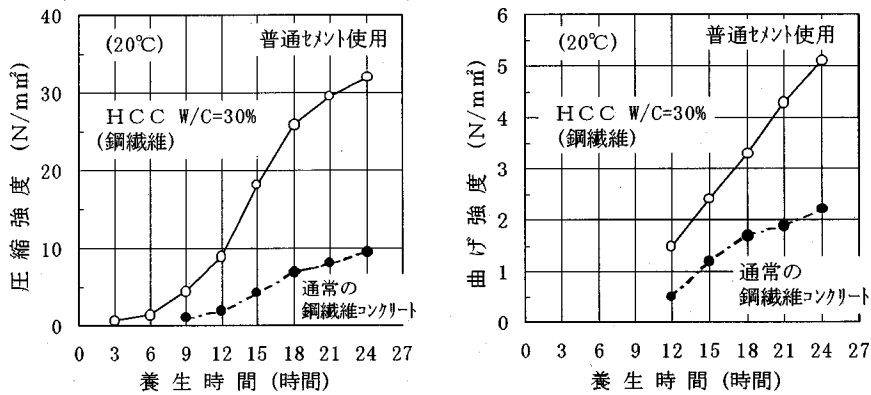


図-7 HCCの初期強度の発現状況¹⁾

(3) 実験項目と目的

硬化初期に受ける熱及び繰返し荷重の作用が、HCCの強度の発現及び水和反応に及ぼす影響を調べるため、表-4に示す実験を行った。この表のうち、③X線回折分析、④電子顕微鏡(SEM)写真観察及び⑤細孔径分布の測定は、②の移動輪による繰返し載荷試験における、所定の材齢毎の曲げ試験後の供試体から試料を採取し直ちに測定した。また、無加熱無載荷の曲げ供試体からの試料でも、同様に採取した試料により測定を行った。

5. 室内実験の結果と考察

(1) 貫入抵抗

コンクリートが超硬練りであることから、HCCの締固め後の支持力を求めるにあたり、締固め直後の状態が舗装用路盤材に近いものと考え、路盤材の支持力評価に用いられる貫入抵抗試験としてのCBR試験方法を適用し、CBR値の経時変化を調べた。HCCの初期強度の発現特性は既に報告¹⁾したが、参考までに図-7に示す、この図から分かるように圧縮強度の発現はHCCの締固め後3時間頃からで、6時間後でも 2N/mm^2 く

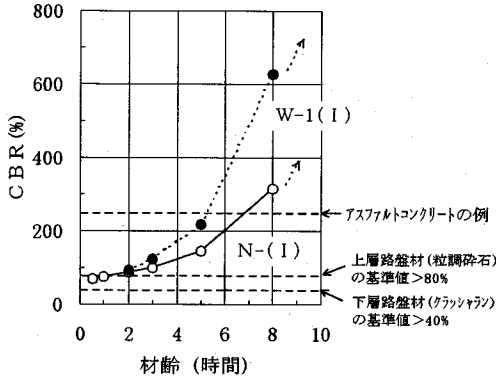


図-8 CBR値の経時変化

表-5 硬化初期に受けた作用別の曲げ強度

記号 ^{※1}	曲げ強度 (N/mm ²) (30℃ 気中放置 ^{※2})		
	材 齢		
	1日	14日	28日
N-(I)	4.8	8.5	9
N-(II)	5.5	9.4	10.6
H-1(I)	5.7	8.8	9.2
H-2(II)	6.2	9.2	9.5
H-3(I)	5.8	8.9	9
H-3(II)	6.4	9.8	10.7
W-1(I)	6.8	9.2	9.5
W-2(I)	6.3	9.3	9.6
W-2(II)	6.7	10.2	10.9
W-3(I)	5.8	8.8	9.2

※1 図-4 に示した試験条件による

※2 移動輪による繰り返し試験と同じ室内に静置

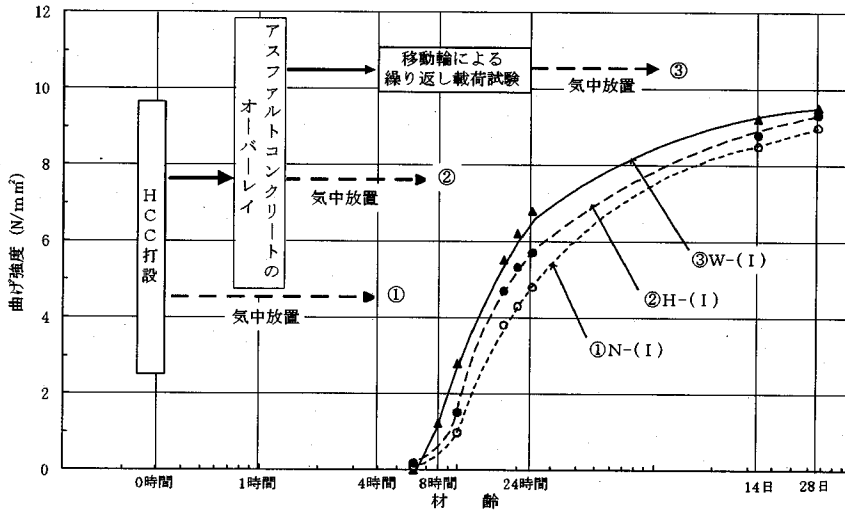


図-9 経過時間と曲げ強度との関係

らにしか達していない。しかし、CBR値は図-8に示すように、N-(I)、H-1(I)ともに締固め直後に80%を示し、2時間後には100%に達し、そのまま静置したN-(I)では6時間後に200%となっている。また、アスファルトコンクリートをオーバーレイしたH-1(I) (CBRの測定時には上層のアスファルトコンクリートは除去した) では、同じく6時間後に約350%にも達し、図-8中に示した通常の道路舗装用上層路盤材の基準値に比べて著しく大きな値となっている。また、交通に供している通常のアスファルトコンクリートのCBR値の例と比べても十分に高い支持力を有し、更に時間の経過とともに著しくCBR値が増加していることが分る。これらの結果から、HCCはその打設直後からアスファルトコンクリートのオーバーレイの施工に必要な支持力

を有し、即ち、セメントの凝結が始まる以前であっても、また、強度が発現していなくても十分な支持力を有して、オーバーレイ施工のワーキングテーブルとしての支持力が十分であるとみられる。

(2) 曲げ強度

オーバーレイの施工による熱とローリング作用及び、その後の移動輪による繰り返し荷重の作用がHCCの硬化、強度の発現にあたる影響を調べた結果の一例を図-9に示す。この図は、HCCの打設1時間後にアスファルトコンクリートのオーバーレイを施し、そのオーバーレイの3時間以後から移動輪による繰り返し荷重を行い、所定の時間毎に曲げ試験を行って、非加熱無荷重の場合との比較を行った結果である。図-9によれば、

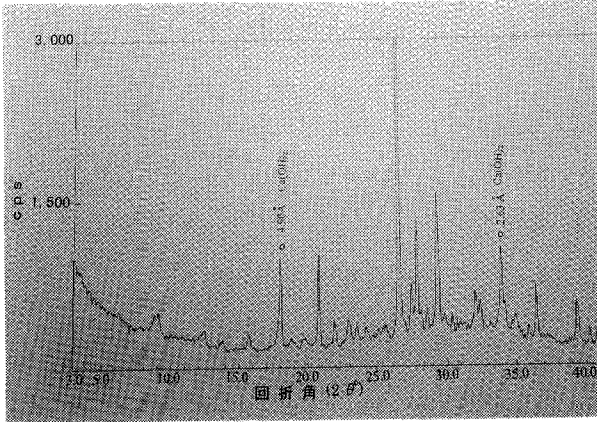


図-10 HCC水和物のX線回折図

HCC成型後30℃に静置したものに比べて、アスファルトコンクリートをオーバーレイしたものは、材齢24時間後において約1 N/mm²、即ち20%ほど曲げ強度が高くなっている。また、オーバーレイ後に移動輪による繰返し載荷を加えたものは、更に約1 N/mm²上昇し、非加熱無載荷の場合に比べて合計で30%強の曲げ強度の増加が認められる。なお、図-4に示すHCC成型後のオーバーレイまでの前置き時間及び、移動輪による繰返し載荷を開始するまでの時間の組合せごとの曲げ強度試験結果を表-5に示す。この結果からも図-9の傾向と特に大きな差は生じていないことが分る。

これらの結果からHCC成型後、間もない時期におけるアスファルトコンクリートのオーバーレイは、HCCの強度が増進する効果があらわれている。これは加熱が硬化の促進作用をもたらすとともに、オーバーレイ時のローリング作用が、凝結前か凝結が始まりかけたHCCへあたえるミクロ的な圧密作用としての効果とみられる。更に、アスファルトコンクリート層の温度が、HCC層とはほぼ同じ温度に達した段階からの移動輪による繰返し載荷においても、移動輪からの荷重が同様な圧密作用を付加しているとみられる。なお、HCCは締固め時において既に99%以上の締固め密度となっているので、このミクロ的な圧密作用による硬化後のHCCの容積変化は、通常の計測では認められなかった。

(3) X線回折分析

X線回折によればセメントの水和初期(数時間～数日)における反応は、水酸化カルシウムの結晶の面間隔4.90Å及び2.628Åでの回折パターンが最も強く表れるとされている³⁾。図-10にHCCの一例を示す。この4.90Åのパターンはその前後に他の顕著な水和物が存在

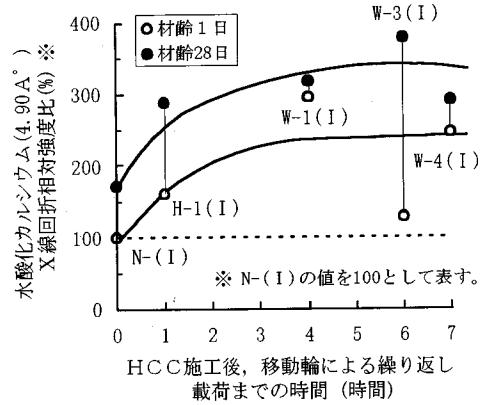


図-11 移動輪による繰返し載荷によるHCC水和物の変化

しないところから、定量的に用いることもある程度有効とされている³⁾。なお、X線回折図を利用して定量を行うには、混合比を変えた標準物質(この場合シリカと水酸化カルシウム)によるキャリブレーションカーブを利用して定量値を求める³⁾とされている。しかし、相当に複雑な方法であるので、ここでは簡便法として、縦軸の計数値(count per second : CPS と略記)を4000に一定として計測した各試料のX線回折図から、4.90Åの回折強度を求め、N-(I)の場合の水酸化カルシウム強度を100として、各試料の水酸化カルシウムの相対強度比(%)をあらわした。その結果を図-11に示す。

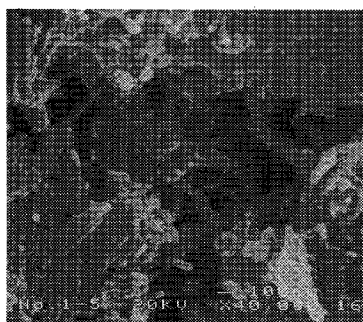
a) アスファルトコンクリートのオーバーレイにおける作用の水和反応への影響

図-11から、アスファルトコンクリートの加熱及び、締固め時のローリング作用の水和反応への影響を、N-(I)に対する水酸化カルシウムの強度比でみれば、H-1(I)においては材齢1日及び28日ともに約70%大きくなっており、水酸化カルシウムの結晶の発達はN-(I)に比べて進んでいるとみられる。

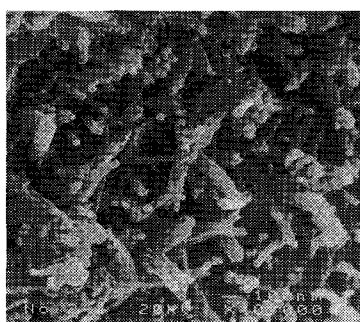
これらの結果からHCCの締固め直後(この場合1時間後)に加熱及びローリング作用による圧密作用を加えた場合、水和は促進しているとみられる。

b) 移動輪による繰返し載荷作用の水和反応への影響

初期に加熱及びローリング作用を与えた上、更に移動輪による繰返し載荷を行った場合でも、図-11にみられるように、材齢1日におけるW-3(I)の値がN-(I)に比べて30%程度しか大きくないが、材齢28日の強度比はかなり高い。また、全体的な傾向からみるとWグループはH-1(I)に比べても、材齢1日では大幅に上回っており、材齢28日においては同等もしくは若干ではあるが上回っているとみられる。



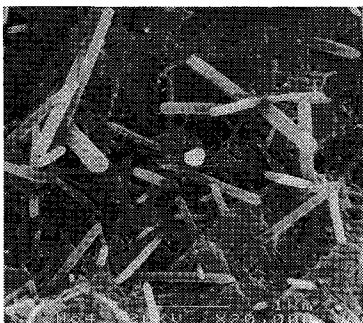
N-1(I) 撮影倍率×40,000※



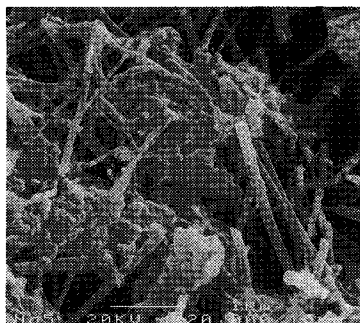
H-1(I) 撮影倍率×40,000※



W-1(I) 撮影倍率×20,000



W-3(I) 撮影倍率×20,000



W-4(I) 撮影倍率×20,000

※N-1(I)、H-1(I)は、結晶が小さいため、それ以外の撮影倍率に対し2倍の倍率としたものを表す。

写真-1 SEM写真(材齢1日)

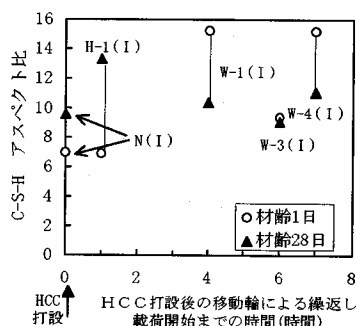


図-12 SEM観察によるC-S-Hアスペクト比

この結果、HCC締固め後にアスファルトコンクリートのオーバーレイを行い、更に打設後4~7時間からの移動輪による繰返し荷重の作用を与えた場合、HCCにおいては、水酸化カルシウムの相対強度比が高まる効果が認められることから、無荷重に比べて水和反応が発達していることとみられる。

(4) SEM観察

SEM写真の一部を写真-1に示す。この写真からはN(I)に比べて、H-1(I)ではC-S-H結晶(繊維状結晶)の発生が多いことが確認でき、更に、WグループではC-S-H結晶の発生量の増加とともに各結晶の成長も認められる。このC-S-Hの繊維状結晶について、径に対する長さの比で表すアスペクト比と、移動輪による繰返し荷重開始時との関係を図-12に示した。材齢1日におけるアスペクト比はN(I)、H-1(I)に比べてWグループは大きく、それだけ水和物の結晶の発進が進んでいることを表している。即ち、初期の熱及びローリング作用が、水和物の発達を促進する効果を示しているとも言える。材齢28日になると結晶の発達に伴ってアスペクト比が小さくなる(繊維状結晶の径が太くなっていく)のはセメント水和物の一般的傾向⁴⁾であり、そのことはW-1(I)及びW-4(I)にはよくあらわれている。なお、他の結晶も含め

て、材齢が進むと結晶間の間隙も狭まり、結晶の交錯のため、アスペクト比を求める測長の精度も劣ってくるこの影響もあり、材齢28日におけるアスペクト比は殆ど差が生じなくなっている。これらのことから、HCCの凝結、硬化の初期に、オーバーレイによる加熱及びローリング作用や、移動輪による繰返し荷重の作用を受けても、短期的には水和の促進が認められ、材齢28日ではセメントの水和反応にあまり差が生じていないものと判断する。

(5) 細孔径分布

各HCC供試体の材齢28日における細孔径分布の測定結果を図-13に示す。なお、細孔径分布は、試料中の骨材粒子の多少による測定値への影響を取り除くために、縦軸の値は当該細孔径の容積を全細孔容積で除した比で表した。この図によれば30℃気中静置のN(I)に対し、熱伝達と、締固め時のローリング作用を受けたH-1(I)では、30~50nmの細孔径部分の容積比が増加した。更に、それに移動輪による繰返し荷重の作用を与えたWグループでは、100nm以上の細孔径では容積比が減少し、且つ、30~50nm細孔径においてH-1(I)を上回る容積比の増加傾向がみられるが、Wグループ内での差は殆どみられない。このことは細孔径分布においては、HCCの成

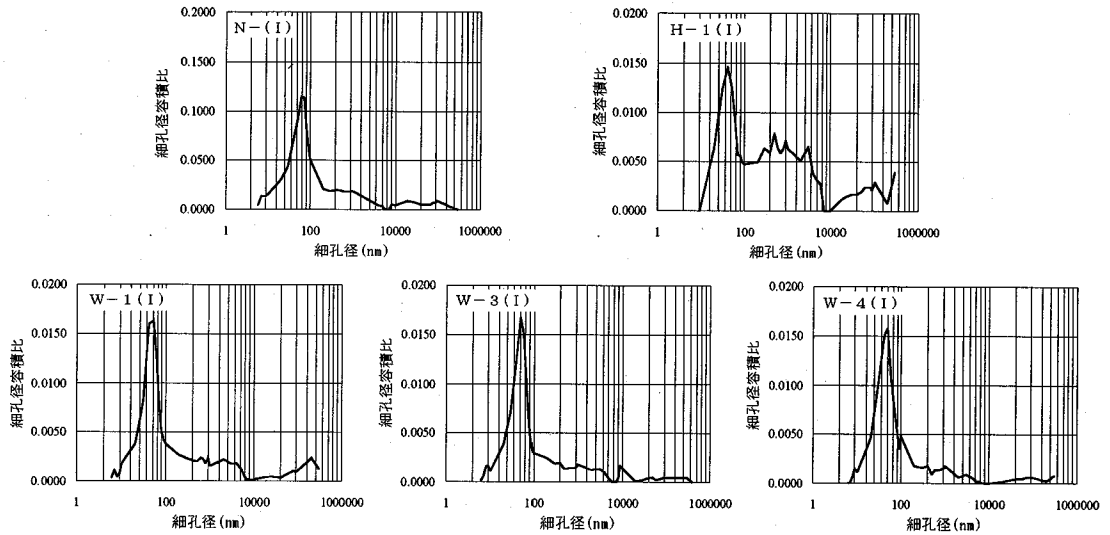


図-13 各種作用を受けたHCCの細孔径分布 (材齢 28 日)

型から凝結、硬化初期におけるアスファルトコンクリートのオーバーレイ及び、移動輪による繰り返し載荷までの時間の差は、材齢 28 日における細孔径分布に影響をあたえないことを表している。

このように、細孔径分布のピークが 100nm より大きい方から、10~100nm の範囲内の小さい方へと移行することは、コンクリート強度の増進に寄与する⁵⁹⁾とされている。したがって、図-13 に示したHCCにおける細孔径分布の変化から、凝結、硬化初期にアスファルトコンクリートのオーバーレイや、移動輪による繰り返し載荷の作用をあたえた場合、締固めのみで静置したものに比べて、若干ではあるが水和が促進しているものと推される。

6. 実大試験の概要

前章までに、half-day 開放型コンポジット舗装に関する室内実験の結果について述べたが、実際の施工に当たっては、

- ① HCC施工後短時間を経た時点で、加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイの機械施工による敷均し及び転圧の可能性。
- ② 加熱アスファルトコンクリートの敷均し時に、トラックタイヤやアスファルトペーパーのクローラによる、HCC面の不陸などの変形やひび割れ発生の有無。
- ③ 加熱アスファルトコンクリートの放冷後、直ちに交通荷重に開放した場合のHCC面の変形やひび割れ発生の有無。
- ④ HCCの下面及び、上面の加熱アスファルトコンクリート層との附着性。

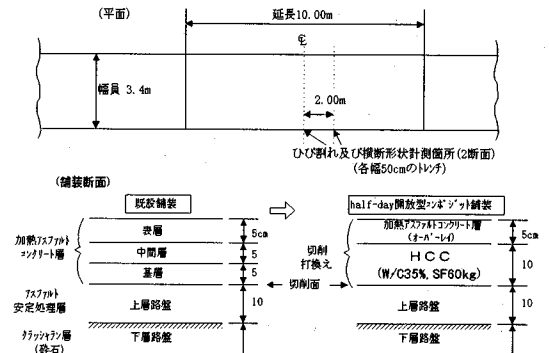


図-14 実大試験の平面および断面図

について確認を行うため、HCCの機械施工と実車輻による走行試験までを含めた実大試験を行った。以下その結果について述べる。

(2) 実大試験の実施方法

a) 実施規模と施工断面

実大試験の実施規模と施工断面を図-14 に示す。

b) 施工、試験条件

実大試験の施工及び試験の条件を表-6 に示す。

(1) 実大実験の結果及び考察

a) 加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイ時の観察

HCC施工 4 時間後の、加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイの施工(写真-2、-3 参照)において、アスファルトペーパーやダンブトラックがHCC上に乗り入れた際に、HCCに生じる現象を観察した。その結果、写真-4にもみられるように、ダンブトラックや

表-6 実大試験の施工及び試験の条件

施工条件	HCCは専用ベーパー(写真-2参照) 加熱アスファルトコンクリートは通常の7アスファルト-A*
敷均し荷目の仕様	密度型型加熱アスファルトコンクリート 敷均し温度160℃
7アスファルトコンクリートの種類	
同上 転圧機械	1次転圧、マカ [®] 1a-5(自重10t(98.1kN)、練圧66kN/cm) 2次転圧、マカ [®] v-3(自重13.6t(133.4kN)、練圧0.464N/mm ²)
施工時気温	6℃
7アスファルトコンクリートの施工	HCC施工4時間後にオーバーレイ(寒冷期施工のためやや時間をとった)
トラックの走行による繰返し繰返し載荷試験条件	
荷重	大型トラック(後輪2軸、軸重88.2kN)(写真-5参照)
接地圧	0.539N/mm ²
走行位置	トラックの縦方向の中心線を幅員の中心線と一致させる
載荷時間	HCC打込み6時間後から2時間、1回/15秒 計480回
計測項目および方法	
横断形状	7アスファルトコンクリート施工直前にHCC面の横断形状の計測を行い、7アスファルトコンクリート施工時に横断形状測定箇所のみ7アスファルトコンクリートとHCCの付着防止を行い、施工2日後に7アスファルトコンクリート層のみトゾットを行い、HCC面の横断形状を水糸を基準として高さ測定。 横断形状測定はトゾット箇所より確認。
ひび割れの確認	2箇所から40×40×10cmのコアを切出し、更に曲げ試験用に10×10×40cmの板型(下面の7アスファルトコンクリートとHCCの付着防止を行い、HCC施工の際に紙を敷いた。)
曲げ強度	
付着強度	下層のアスファルト安定処理層から最上層の7アスファルトコンクリートまでの全層を切出し、各層間について5×9cmの付着面で建築式接着力試験器PT-1500(最大圧9.5N/mm ²)、スリット10mm、3.5t×7.5t×120mm:建設省建築研究所開発)を用いて引張試験を実施。

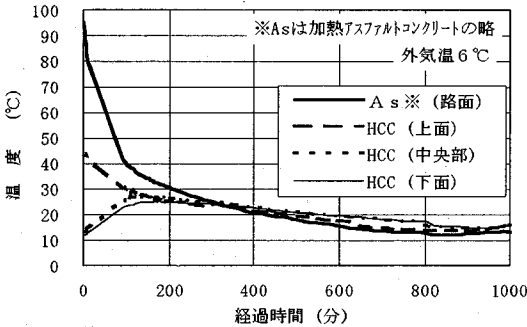


図-15 舗装各部の温度の経時変化

アスファルトペーパーの軌跡には不陸および、ひび割れが発生しなかった。

この結果、図-8で示したようにHCCは施工後のCBR値が、路盤材に比べて高い値に達していることにより、施工機械のワーキングテーブルとして十分な支持力を有していることを実大実験においても確認した。

b) 加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイ後の温度変化

加熱アスファルトコンクリートのHCC上への敷均し直後からの、各部の温度の経時変化を図-15に示す。トラック走行による繰返し載荷は、路面温度が40℃を下回った時点から開始した。その時間はアスファルトコンクリートの敷均し約2時間後、HCC施工後6時間後となった。

c) オーバーレイ時の転圧およびその後のトラックの走行による繰返し載荷の影響

加熱アスファルトコンクリートの敷均し転圧から2時間後に、トラックの走行による繰返し載荷(写真-5参照)を表-6に示す条件で2時間行った。更に、2日後に

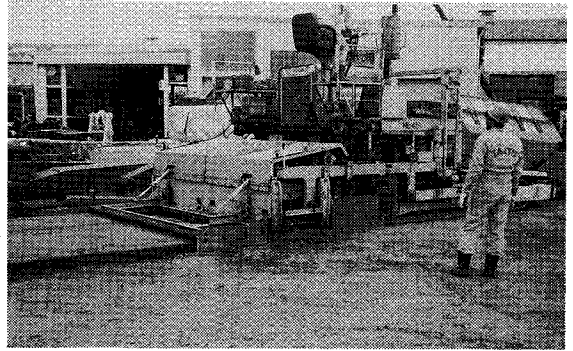
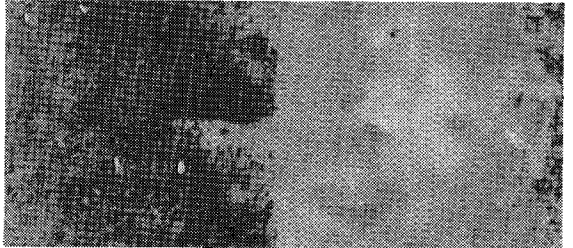


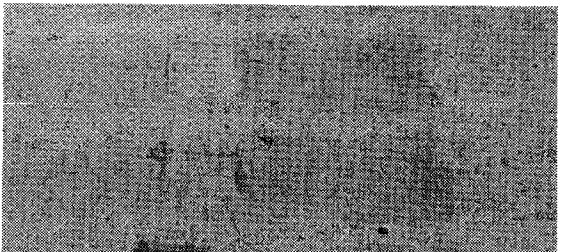
写真-2 HCCの施工機械



写真-3 アスファルトコンクリートの転圧作業



ダンプトラックのタイヤの通過部



アスファルトペーパーのクローラの通過部

※ タイヤの通過後はお汚れによるパターンが認められるがクローラ跡と同様に凹凸は生じていない。

写真-4 施工4時間後のダンプトラック及びアスファルトペーパーの通過位置におけるHCC面の状態

図-14に示す2ヶ所の横断トレンチを開削、アスファルトコンクリート層を除去し、HCC面の不陸やひび割れの発生を調べた。図-16に示すように、HCC施工後の上面の平坦性と、加熱アスファルトコンクリートの転圧及び、トラック走行による繰返し載荷試験後のHCC上面における平坦性には差はなく、不陸の発生もなかった。

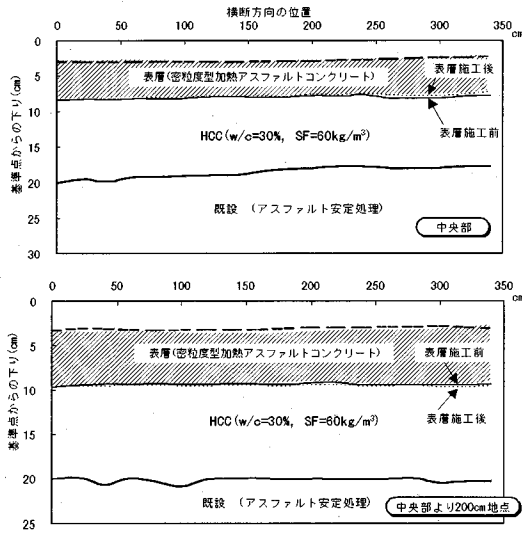


図-16 走行試験前後のHCC横断面の平坦性

表-7 付着力

材齢 (日)	HCC下面とアスファルト 安定処理上面との 境界面	加熱アスファルトコンクリート 下面とHCC上面との 境界面
	(N/mm ²)	(N/mm ²)
7	1.25	1.58
14	1.27	1.62
アスファルト系それぞれの 単体の引張強度		0.8~1.3
		1.2~1.6

※ 20℃ 気中にて試験

表-8 切取り供試体の曲げ強度および充填率

材齢 (日)	曲げ強度 (N/mm ²)	
	供試体A ^{*1}	供試体B ^{*2}
7	7.7	6.5
14	8.5	7.8
充填率 ^{*3}	100.4	100.5

※1供試体A:トラック走行による繰返し荷重を受けた箇所

※2供試体B:トラック走行による繰返し荷重を受けなかった箇所
養生はシート覆いのみで保温はなし。(気中放置)

※3理論密度に対する供試体密度の百分率

また、ひび割れについては、観察のためにHCC下面と既設アスファルト安定処理層上面との付着防止を施した箇所から、材齢2日でHCCを切取り、目視で観察したが(写真-6、写真-7参照)、ひび割れの発生は認められなかった。

d) HCCの上面および下面との付着力

オーバーレイの加熱アスファルトコンクリート下面とHCC上面との境界面及び、HCC下面と既設アスファルト安定処理上面との境界面における付着試験結果を表-7に示す。HCCとアスファルト安定処理面との付着力は、加熱アスファルトコンクリートと、HCC面とに比べて若干小さい。しかし、これは加熱アスファ



写真-5 トラックによる走行試験

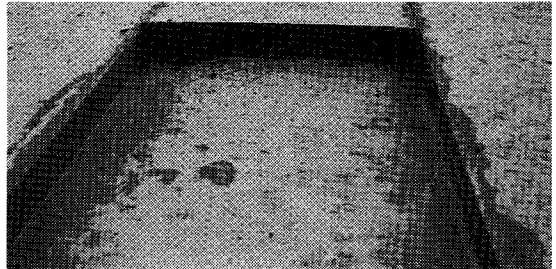
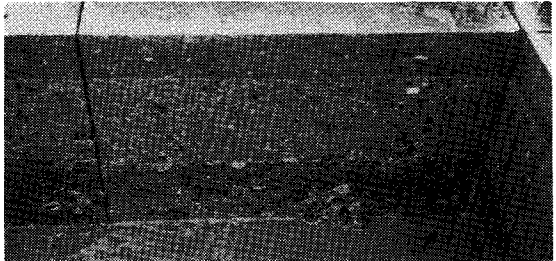


写真-6 トレンチ部のHCC上面



上層:アスファルトコンクリート(オーバーレイ)、中間層:HCC、
下層:アスファルト安定処理

写真-7 トレンチ部の断面

トコンクリートとアスファルト安定処理混合物自体の引張強度の差によるものであり、HCCとの境界面付着強度としては十分であることが確認された。

e) 切取り供試体の曲げ強度および充填率

凝結初期における、熱とローリング作用の影響及び、硬化初期におけるトラックの走行による繰返し荷重を受けた箇所と、それらを受けなかった箇所から採取した供試体の曲げ強度を表-8に示す。これによれば、繰返し荷重を受けた部分の強度が若干高いが、これは表-5に示した室内実験データと類似した傾向である。なお、表-5に比べて実大試験の曲げ強度の値が若干低いのは、室内実験が20±1℃の水中養生で行われているのに比べて、実大試験の施工時及び、その後の気温が6℃と低かったこと、水中養生が行われていないことの影響とみられる。また、両切取り供試体の充填率は十分な結果が得られている。

7. 結論

HCCコンクリートの凝結及び硬化初期に熱やローリング作用及び移動輪による繰返し載荷の作用を与えた場合の、コンクリートの水和反応、HCC面の不陸やひび割れの発生及び強度の増進に与える影響について検討した結果、以下のようにまとめることができる。

(1) 室内試験の結果から

HCCコンクリートの敷均し締固め直後の支持力を表わすCBR値は、舗装用上層路盤材のそれを大幅に上回り、且つ、時間の経過とともに著しく増大するので、HCC締固め後の早期（1～4時間程度）において、加熱アスファルトコンクリートの施工の際のワーキングテーブルとして十分な支持力を有している示唆が得られた。

HCCコンクリートが締固め後、早期（1～4時間程度）に、加熱アスファルトコンクリートの熱及びローリング作用を受けた場合、材齢6時間以降において曲げ強度の増進がみられる。また、材齢28日においても無作用の供試体と比べて低下は認められなかった。

同様にオーバーレイ後、アスファルトコンクリートが交通車輛の通行を可能とする温度まで放冷したのち、移動輪による繰返し載荷を行っても曲げ強度の増加が認められた。

また、これらの作用が水和反応に及ぼす影響を調べるため行った、X線回折分析、SEM観察、細孔径分布の試験結果からも、水和が促進することが確認された。

(2) 実大試験の結果から

室内実験の結果を確認するために実大実験を行った結果、HCCの凝結時における加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイや、硬化初期にトラックの走行による繰返し載荷を行っても、HCC面上に不陸やひび

割れは発生せず、強度の増進などについては室内実験と同様の結果が得られた。

(3) まとめ

以上のことから、超硬練りコンクリートとしてのHCCは敷均し、締固め後1～4時間を経て加熱アスファルトコンクリートのオーバーレイを行い、その後2～3時間の放冷時間のあと、トラックの走行による繰返し載荷を行っても、十分に水和が進行し強度が発現することが確認されたことにより、普通セメントを用いたコンクリートの打設後数時間で、自動車交通に開放できるhalf-dayコンクリートとして施工のことが確認できた。

参考文献

- 1) 吉兼 亨, 鯉江利夫, 松下正美, 石原康英: 超硬練り高強度コンクリートの特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.249-254, 1994.
- 2) 吉兼 亨, 鯉江利夫, 松下正美, 木村隆之: 超硬練り高強度コンクリートの施工性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.1279-1284, 1995.
- 3) 鈴木一考, 野尻陽一, 松岡康則: コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ4/コンクリートの組成構造の診断, 小林一輔編集, 森北出版, 1993.
- 4) 内川浩: 最新のキャラクター化手法とセメントコンクリートへの応用, コンクリート工学, Vol.32, No.12, pp.16-28, 1994.12.
- 5) 羽原俊佑: コンクリートの構造とその物性, セメント・コンクリート, No.549, pp.31-43, Nov.1992.
- 6) 羽原俊佑: コンクリートの構造とその物性, セメント・コンクリート, No.550, pp.50-63, Dec.1992.

(1995. 6. 7. 受付)

PROPERTY OF THE SUPER-TOUGH MIXED CONCRETE THAT RECEIVED HEAT AND REPEATED LOADING UNDER SETTING AND HARDENING AT EARLY PERIOD

Toru YOSHIKANE, Toshio KOIE, Yoshiro NAKASHIMA and Takayuki KIMURA

The super-tough mixed concrete that was compacted with high vibration energy has the property of not happening plastic deformation easily by external force just after compaction. In the period of setting and early period hardening condition of concrete by utilizing the property, the composite pavement is made by carrying out an overlay of hot-mixed asphalt concrete. Furthermore, the term of the pavement construction is able to be contracted by opening to the traffic without curing of concrete. In this study, it was confirmed that it had the effect that accelerated the occurrence of bending strength of concrete and the progress of hydration reaction, even if the heating and the action of repeated loading by wheel load were given without putting the curing period of concrete.