

配合および環境条件の違いがコンクリートの コールドジョイント発生に及ぼす影響について

芳賀孝成 十河茂幸
三浦律彦 新開千弘

Influences of Mix Proportions and Environmental Conditions on Occurrence of Cold Joints in Concrete

Takashige Haga Shigeyuki Sogo
Norihiko Miura Chihiro Shinkai

Abstract

Cold joints occur very often when concrete is placed in hot weather or in substantial volume in large structures. Outdoor tests were therefore performed to learn about the degrees of effects of increases in retarding admixture dosages and protection from sunshine or wind on occurrences of cold joints in concrete in summer. The tests were of the following: (a) setting time of mortar, (b) vibrator penetration time in concrete, (c) flexural and compressive shear strengths of specimens placed in two layers. The results were as follows: (1) An increase in dosage of retarding admixture and the protection from evaporation during placing are very effective for controlling the occurrence of cold joints. (2) Cold joints occur when the concrete is placed after the Proctor penetration resistance of the lower concrete has become 80~150 psi, or the vibrator penetrating time 8~15 sec. (3) The permissible time limit for placing concrete on top of older concrete is thought to become 1.5~3 hours longer than the cold joint occurring time.

概要

暑中のコンクリート打設や大規模構造物での大量打設においては、その打ち重ね部にコールドジョイントが発生しやすい。そこで、その対策の一つと考えられる遅延性混和剤の増量使用および日射や風を避けることがコールドジョイントの発生にどの程度の影響を及ぼすかを把握する目的で夏期に屋外実験を実施した。試験項目は、(a)モルタルのプロクター貫入抵抗試験、(b)コンクリートのバイブレーター貫入試験、(c)2層重ね打ち供試体の曲げ試験と(圧縮)せん断試験である。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) 遅延性混和剤の増量使用や施工時に水分の蒸発を防ぐことはコールドジョイントの発生を抑制するのにいずれも大変効果がある。
- (2) コールドジョイントはプロクター貫入抵抗値が80~150psi、バイブレーター貫入時間が8~15sec.になった後に打ち重ねた場合に発生する。
- (3) 重ね打ちの許容限界時間はコールドジョイント発生開始時間よりもさらに1.5~3時間程度長くなると思われる。

1. まえがき

最近のコンクリート工事においては、ダム以外の工事でもLNG地下タンクや地下発電所などの建設工事に代表されるような大量打設がしばしば行なわれる。この種の工事では多量かつ広範囲の施工を余儀なくされ、かつ、一般に部材厚が大きいため層打ちをしなければならぬ。そして、その下層コンクリートは通常1~2時間、

長い場合には3~4時間もの間放置されるため、その間にコンクリートの凝結が進んでコールドジョイントが発生しやすい。また、小規模の工事でも、暑中にコンクリート打設を行なう場合には高温のため凝結が一段と進み、表面からの水分の蒸発と相まってコールドジョイントを生じやすくなる。そこで本実験では、コンクリートに用いる遅延性混和剤の使用量や種類、それにそのコンクリートが置かれる環境条件を変えることがコールドジョイ

ントの発生にどの程度の影響を及ぼすかについて調べた。なお、それらの判定試験としては以下のものを用いた。

- (a)モルタルのプロクター貫入抵抗試験
- (b)コンクリートのバイブレーター貫入試験
- (c)2層重ね打ち供試体の曲げ試験, (圧縮)せん断試験

2. 実験概要

2.1. 使用材料および配合

実験に使用したコンクリートは目標スランプ 15 ± 2.5 cm, 目標空気量 $5 \pm 1\%$ である。2層重ね打ち供試体の後打ち(上層)コンクリートのみ可傾式ミキサーで現場練りしたもの(1バッチ 40 l)を用い, それ以外はすべてプラント練りしたもの(1バッチ 2 m^3)を用いた。コンクリートの使用材料は以下の通りである。

- (a)セメント: 低熱型高炉セメントB種(D社製, スラグ含有量 $55 \pm 2\%$, 比重3.01)
- (b)細骨材: 君津市法木産山砂(比重2.62, 粗粒率2.86, 吸水率1.62%, 実積率65.9%)
- (c)粗骨材: ①大井川産川砂利(最大寸法 25 mm, 比重2.66, 粗粒率6.83, 吸水率0.37%, 実積率65.9%)
②碎石2005号(最大寸法 20 mm, 比重2.67, 粗粒率 6.53, 吸水率 0.32%, 実積率 63.0%)
- (d)混和剤: ①遅延型 AE 減水剤 P (N社製, リグニンスルホン酸塩を主成分とする)
②遅延剤 R (N社製, けいふつ化物を主成分とする無機系遅延剤)

遅延性混和剤の使用量およびコンクリートの配合は表一1に示す4種類とした。この配合では単位セメント量と単位粗骨材量を一定にしているため, 減水剤Pの増量使用時の減水効果により単位水量が少なくなっていることから w/c は少し小さく, また s/a は少し大きくなっている。遅延剤Pを併用しているD配合ではその減水作用が全くないためA配合と同じ配合となっている。

2.2. モルタルおよびコンクリートの凝結試験

一般によく行なわれる凝結試験には, コンクリートを

5 mm ふるいでふるって作成したモルタルを用いたプロクター貫入抵抗試験 (ASTM C-403) があるが, コンクリートを直接試験する方法はまだ確立されていない。そこで, 図一1に示すようなバイブレーター貫入試験を新たに考案し, 実施した。この試験は, 所定の貫入重量 (0.5, 1.0 kg の2段階) にセットした棒状バイブレーター (本体重量 4.0 kg, 直径 28 mm, 振動数 12,000 rpm) がある深さ (10, 15, 20 cm とした) 貫入するのに要する時間 (以下貫入時間という) でコンクリートの凝結の程度を示すもので, 各重量で 20 cm の貫入時間が 20~30 sec. 程度になるまで一定間隔で測定を行なった。なお, 今回は凝結初期の性状把握に重点を置いたため, プロクター貫入抵抗試験において 2 in^2 の針も使用した。

2.3. 各種環境条件の比較試験

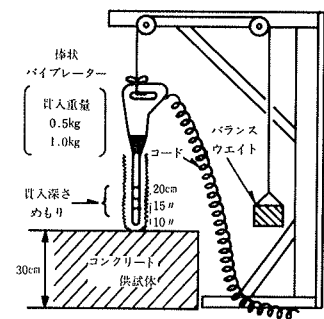
コンクリートの打継ぎ面の凝結性状は, 各種の環境条件, 特に日射による表面温度の上昇や風による水分の蒸発の影響を大きく受けるため, ①屋外放置養生(日射や風の影響大) ②屋外散水養生(水分の蒸発抑制) ③シート内養生(白シート掛けにより日射や風の影響小) の3種類の環境条件を設定し, それらがコールドジョイント発生に及ぼす影響についての比較試験も実施した。ここで, ②の散水養生はブリージング水が表面に貯った状態を想定したものである。なお, 試験日の各種環境条件の計測結果は図一2に示す通りで, 当日の天候が曇りがちであったため日射の影響による気温やコンクリート温度の上昇は比較的少なかった。しかし, 海浜地域での屋外実験であったため常時 2~5 m/sec. のやや強い風が吹いていた。

2.4. 2層重ね打ち供試体の強度試験

打ち重ね部に生じたコールドジョイントがコンクリートの強度にどの程度の悪影響を及ぼすかを調べる目的で, 下層コンクリートを所定の時間放置してから上層を打った2層重ね打ち供試体の曲げ試験および(圧縮)せん断試験を実施した。曲げ試験は $10 \times 10 \times 40$ cm の角柱供試体を 5 cm の厚さで水平に打ち重ねたものを, また(圧縮)せん断試験は $\phi 15 \times h 30$ cm の円柱供試体を約 56° の

配合	特徴	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)							遅延性減水剤 P	遅延剤 R
				W	C	S	G(川)	G(砕)	遅延性減水剤 P	遅延剤 R		
A	標準 (P : C × 0.25%)	60.0	48.0	155	259	907	500	499	C × 0.25% 0.648	—		
B	P : 1.5倍量	58.3	48.3	151	259	917	500	499	C × 0.375% 0.971	—		
C	P : 2.0倍量	56.8	48.6	147	259	928	500	499	C × 0.5% 1.259	—		
D	P, R使用	60.0	48.0	155	259	907	500	499	C × 0.25% 0.648	C × 0.6% 1.554		

表一1 コンクリートの配合および遅延性混和剤の使用量



図一1 バイブレーター貫入試験装置

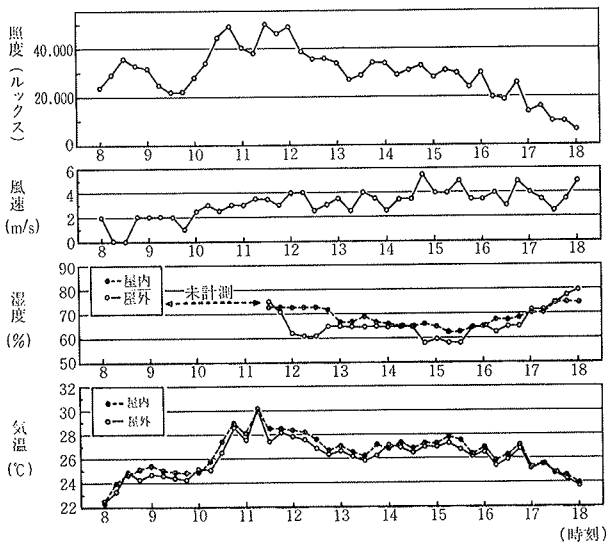


図-2 試験日の各種環境条件の計測結果

傾斜面で打ち重ねたものを用いた。なお、この（圧縮）せん断試験は一軸荷重をして境界面ですべり破壊を生じさせるもので、境界付近とそうでない部分において荷重時のひずみも測定した。また、各供試体は材令2日で脱型するまでは現場養生を、その後試験材令（28日）の前日までは現場水中養生を実施した。

3. コンクリートの凝結性状に及ぼす配合および環境条件の影響

3.1. 遅延性混和剤の増量使用の効果

遅延性混和剤を増量使用した場合のモルタルの凝結時間は、図-3～5に示すようにいずれの環境条件においても遅れ、顕著な効果が認められる。例えば始発時間（貫入抵抗値が500 psiに達するまでの時間）で見ると、いずれの環境条件においても標準のA配合に比べてB配合が約20分、C配合が約1時間、D配合は2時間も遅くなっている。なお、始発後の曲線の立ち上りの形状はいずれもほとんど大差がなく、遅延混和剤の増量使用がコンクリートの硬化後の強度発現性状に悪影響を及ぼすことはないと思われる。

次に、コンクリートのバイブレーター貫入試験の結果の一例を図-6、7に示した。これらはいずれも深さ20 cmの貫入時間を示したもので、10 cm および 15 cm の貫入時間もほぼ同様な傾向を示している。全体的にはモルタルのプロクター貫入抵抗試験結果とほぼ同様な曲線となっており、この結果でも遅延性混和剤の増量使用の効果が認められる。なお、D配合においてはモルタルの試験結果以上の遅延効果が現わ

れている。

3.2. 環境条件の違いが凝結性状に及ぼす影響

同じ配合のコンクリートでも環境条件が異なるとその凝結性状もかなり異なることが分かる。モルタルの始発時間で見ると（図-3～5）、例えばC配合のものでは、屋外養生に比べて散水養生が約1時間、シート内養生が約1.5時間遅くなっている。A、B配合においても、遅延時間が少し短くはなっているが同様な遅延効果が認められる。気温（図-2）や供試体温度の計測結果によるとシート内の方が屋外より約0.5°C高く、温度が高いほど凝結が早くなるのが一般的傾向である。従ってこの結果から、風による水分の蒸発がモルタルの凝結時間に及ぼす影響はかなり大きいことが分かる。

コンクリートのバイブレーター貫入時間（貫入深さ20 cm）を示す図-7の結果においても、屋外養生したものに比べて散水養生やシート内養生したものではA、B配合が0.5～1時間程度、C配合が1～1.5時間程度の遅延効果が現われている。これらの結果より、日射および風による水分の蒸発を抑えることはコンクリート表面の凝結を遅延させるのにかなり有効な手段と考えられる。

4. コールドジョイント発生開始時間および打ち重ね許容限界時間に関する検討

4.1. コールドジョイント発生開始時間

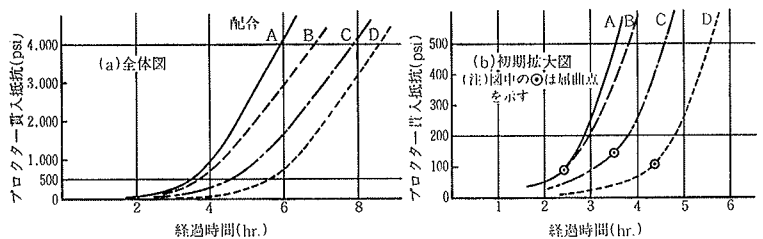


図-3 プロクター貫入抵抗試験結果 (1) 屋外養生した場合

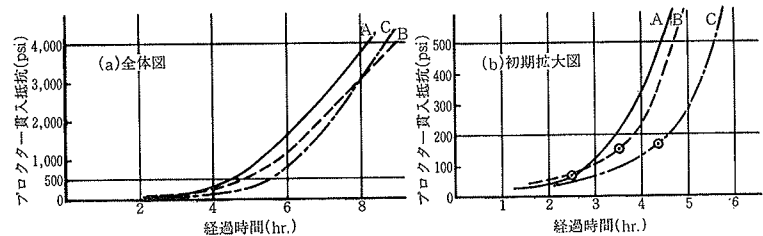


図-4 プロクター貫入抵抗試験結果 (2) 屋外散水養生した場合

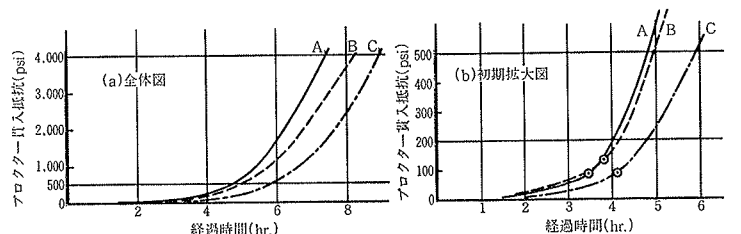


図-5 プロクター貫入抵抗試験結果 (3) シート内養生した場合

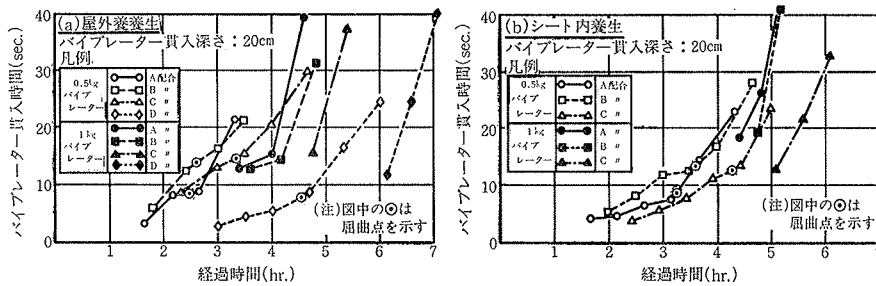


図-6 バイブレーター貫入試験結果 (1) 配合の比較

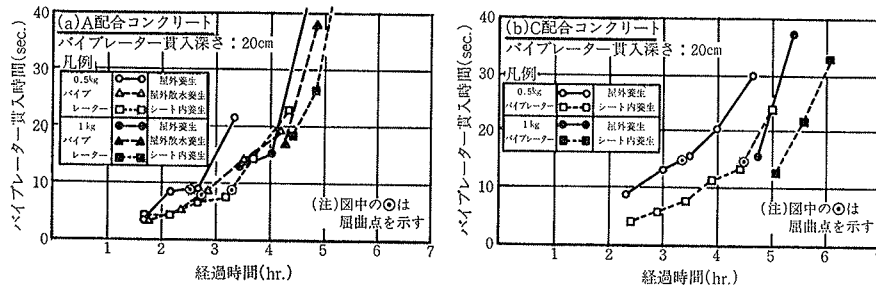


図-7 バイブレーター貫入試験結果 (2) 環境条件の比較

図-3～5のプロクター貫入抵抗曲線や図-6, 7のバイブレーター貫入時間曲線は、それぞれある値に達した後に急激な上昇を示す特徴がある。図中に示したこれらの屈曲点の時間と各試験値を示したのが表-2である。屈曲点の時間はコンクリートの配合や環境条件の違いによってかなり変化するのに対し、プロクター貫入抵抗値は70～170 psi、バイブレーター貫入時間(貫入重量0.5 kg、貫入深さ20 cmの場合)は8～16 sec. とほぼ同じ値に収まっているのが分かる。笠井¹⁾による、コンクリートの凝結の終結は貫入抵抗値が10 kg/cm²(約140 psi)程度になった時と考えられ、これは打ち継ぎの許容限界と大体一致することが示されている。また、鳥田²⁾は貫入抵抗値で5～10 kg/cm²(約70～140 psi)程度がコールドジョイントの発生を防げる限界と考えている。今回作成した2層重ね打ち供試体においても、ほぼ表-2に示した時間を過ぎてから打ち重ねたものにコールドジョ

イントの発生が確認された。以上のことを考え合わせると、この屈曲点の時間をコールドジョイント発生開始時間と定義してもよいと思われる。なお、この時間における貫入抵抗や貫入時間の値は、コンクリートの配合(特に、使用したセメントや混和材料の種類、W/C、スランプなど)や環境条件(特に表面からの水分の蒸発の程度)、それに再振動の有無などによって若干変化することが予想されるが、それでも貫入抵抗値で80～150 psi程度、貫入時間で8～15 sec.程度をコールドジョイント発生開始の大体の目安とすることができると思われる。

ここで、モルタルのプロクター貫入抵抗試験は試料のごく表面の凝結性状を把握するものであるため、今回のような打ち重ね部のコールドジョイント発生の判定には大変有効であるが、コンクリート全体の凝結性状を判定する目的で使用すると判断を誤ることもあるので注意を要する。この点に関しては次に示す。

4.2. 貫入抵抗値と貫入時間との関係

モルタルのプロクター貫入抵抗値とコンクリートのバイブレーター貫入時間との関係の一例を図-8に示した。この結果より、屋外養生したものでは配合の種類別のべき乗曲線に回帰できるのに対し、シート内養生したものではありませんすべての配合のものが1本のべき乗曲線に回帰できることが分かる。この理由としては以下のことが考えられる。シート内養生の場合のように比較的水分の蒸発の少ないものでは全体の凝結が一樣に進み、配合の種類によらずに貫入抵抗値と貫入時間は1対1の対応を示す。それに対し、屋外養生の場合のように表面からの水分の蒸発が多いものでは内部に比べて表層部の見掛けの凝結(こわばり)が進み、その差異はW/Cの大きいものほど顕著になると思われる。コンクリートのW/CはA>B>Cの順に小さくなっていることからこの図のような結果になったのであろう。D配合については、遅延剤の使用によりブリージングが増加し、表層部の見掛けのW/Cが増加したためにA配合の上側にきたと考えられる。

以上のように、急激な水分の蒸発作用を受ける環境条件下で行なったプロクター貫入抵抗試験の結果はごく表層部だけの特性値になりがちで、全体の凝結性状を正しく把握するためにはバイブレーター貫入試験を併用することが必要と思われる。なお、貫入抵抗値と貫入時間と

環境条件	配合	プロクター貫入抵抗試験結果		バイブレーター貫入試験結果	
		屈曲点の時間(時間, 分)	屈曲点の貫入抵抗(psi)	屈曲点の時間(時間, 分)	屈曲点の貫入時間(sec.)
屋外	A	2.20～2.30	70～100	2.20～2.30	11～13
	B	2.20～2.30	80～100	2.30～2.40	12～13
	C	3.30～3.40	130～150	3.20～3.30	15～16
	D	4.20～4.30	90～120	4.30～4.40	8～10
屋外散水	A	2.30～2.40	70～80	2.40～2.50	8～9
	B	3.20～3.30	130～150	—	—
	C	4.10～4.20	150～170	—	—
シート内	A	3.20～3.30	70～90	3.10～3.20	8～10
	B	3.40～3.50	120～140	3.30～3.40	12～14
	C	4.00～4.10	80～100	4.20～4.30	12～14
全体の値		—	70～170	—	8～16

表-2 モルタルおよびコンクリートの凝結試験結果

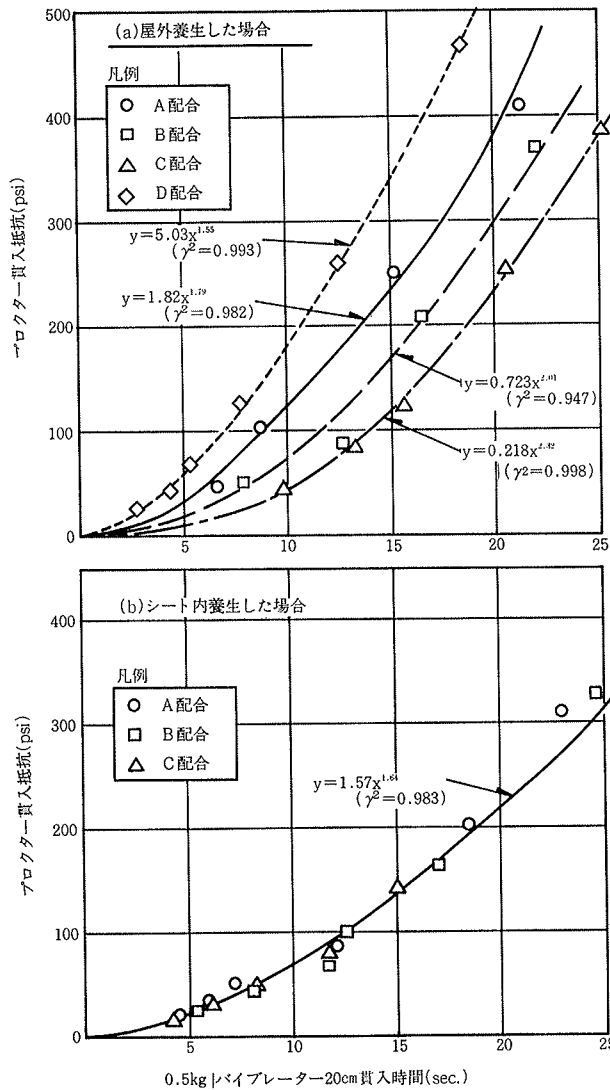


図-8 貫入抵抗値と貫入時間との関係

の関係はコンクリートの配合と環境条件が決まればほぼ一意的に定まることがこれらの結果より明らかになった。

4.3. 配合や環境条件の違いが打ち重ね部の強度低下に及ぼす影響

打ち重ね部にコールドジョイントが発生すると、コンクリートが一体化していないことにより強度低下が現われる。図-9はその一例として、一体打ち供試体に対する2層重ね打ち供試体の曲げ強度比を示したものである。この結果より、曲げ強度の低下はいずれもコールドジョイント発生開始時間より0.5~1.5時間程度後に始まり、その後は時間の経過にほぼ比例して低下することが分かる。そして、その低下率は最大のもので約50%にもなっており、コールドジョイントが打ち重ね部の強度低下に及ぼす影響はかなり大きいようである。ここで、遅延性混和剤を増量使用したものでは、強度低下が始まる時間の遅れはコールドジョイント発生開始時間の遅れ以上に大きく、一体化のためのより良い効果が認められる。ま

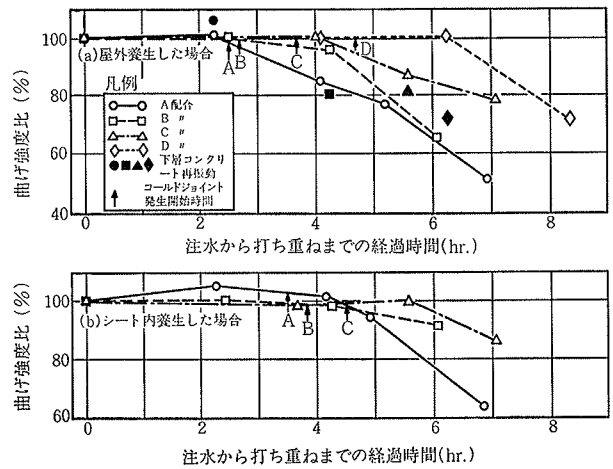


図-9 コールドジョイント発生に伴う曲げ強度の低下

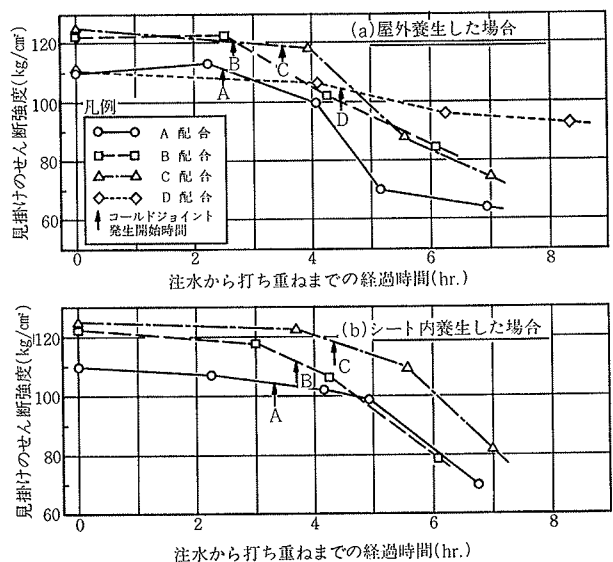


図-10 コールドジョイント発生に伴うせん断強度の低下

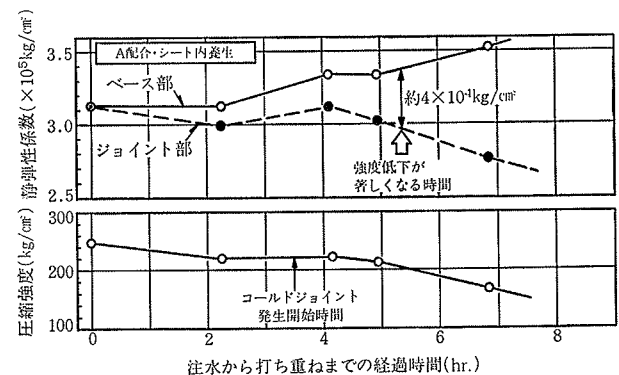


図-11 コールドジョイント発生後のジョイント部の弾性係数の変化

た、シート内養生したものでは屋外養生したものよりさらに1~1.5時間程度強度低下の始まりを遅らせることができ効果的である。

なお、図-9(a)において黒ぬりで示したものは打ち重ね前に下層コンクリートを再振動したものの結果で、

(一般に振動限界と考えられている) 始発時間以前に再振動を加えたA配合では一体化による強度の増加が見られるのに対し、それ以降に再振動を加えたB, C, D配合では逆に強度低下を示している。このことから、コンクリートに再振動を加える場合にはその時期に十分注意する必要があると言える。

次に、傾斜した境界面を有する2層打ち重ね円柱供試体の(圧縮)せん断試験の結果を図-10に示した。この図で見掛けのせん断強度として示しているのは、最大荷重のせん断方向の成分をその面積で除して求めた値である。なお、経過時間が0hr.の時(一体打ち)の値は、最大荷重および遠藤ら³⁾が実験により求めた式から計算したものである。屋外養生したものでは、A, B配合が3時間程度、C配合が4時間程度、D配合が4~5時間程度経過して打ち重ねたもので強度低下が始まり、この結果からも遅延性混和剤の増量使用の効果が認められる。シート内養生したものでは、A, B配合が3~4時間程度、C配合が4~5時間程度経過して打ち重ねたもので強度低下が始まり、屋外養生したものに比べてそれほど著しい差異は現われていない。また、これらの(圧縮)せん断試験の結果では、曲げ試験の結果に比べて強度低下が始まる時間が1時間程度早くなっているが、これはこの試験体の打ち重ねの面(境界面)が平滑に仕上げられたためその破壊形態が急激なすべり破壊となり、コールドジョイントの発生に伴う弱点をより敏感にキャッチしたためと思われる。従って、強度低下を実際に最も適した形で示しているのは曲げ試験の結果の方であろう。

また、打ち重ね部(ジョイント部)とそうでない部分(ベース部)との静弾性係数を比較してみると、例えば図-11に示すようにジョイント部の方が小さくなっている。そして、コールドジョイントが発生するとそれが弱点となるため、ジョイント部とベース部の弾性係数の差は大きくなる。本実験の結果によると、この弾性係数の差が $4\sim 5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 程度以上になった時に大きな強度低下を示すようである。

4.4. 打ち重ねの許容限界時間

配合 判定法	屋外養生した場合		シート内養生した場合	
	曲げ試験	せん断試験	曲げ試験	せん断試験
A	3.5時間	4.5時間	5.0時間	5.0時間
B	4.5時間	4.0時間	6.0時間	4.5時間
C	5.5時間	4.5時間	6.5時間	5.5時間
D	7.0時間	7.5時間	—	—

(曲げ強度の低下の限界を90%、見掛けのせん断強度の低下の限界を85%と仮定した時の打ち重ねの許容限界時間)

表-3 コンクリートの打ち重ねの許容限界時間

2層重ね打ち供試体の各種試験結果において強度低下の許容限界を設定し、その値まで低下した時の(注水から打ち重ねまでの)経過時間を打ち重ねの許容限界時間と呼ぶことにする。曲げ強度および(圧縮)せん断強度の低下の限界をそれぞれ90%、85%と仮定した場合の各種配合のコンクリートの打ち重ねの許容限界時間は表-3のような値となる。これらの値を表-2に示したコールドジョイント発生開始時間と比べてみると、いずれの環境条件のものでもA配合は約1.5時間、B配合は約2時間、C配合は約1.5~2.5時間、D配合は約3時間遅れることになる。この結果からも遅延性混和剤の増量使用の効果や環境条件の違いの影響の大きさが認められる。

5. まとめ

本実験によって明らかになったことをまとめると以下のようなになる。

- (1) 暑中打設においてコンクリートの凝結を遅らせるのに、遅延性混和剤の増量使用および表面からの水分の蒸発を防ぐことがいずれも大変効果的である。
- (2) コンクリートのコールドジョイント発生開始時間はプロクター貫入抵抗値で80~150 psi程度、バイブレーター貫入時間(0.5 kg重量で20 cm貫入深さの場合)で8~15 sec.程度になった時である。
- (3) プロクター貫入抵抗試験は試料の表層部の凝結性状を示すものであり、その適用には注意を要する。
- (4) バイブレーター貫入試験はコンクリートの表面および内部の凝結性状を把握するのに有効な手段である。
- (5) 2層重ね打ち供試体の強度低下から決めた打ち重ね許容限界時間はコールドジョイント発生開始時間よりもさらに1.5~3時間程度長くなると思われる。

謝 辞

本実験の遂行に当り多大の御協力を頂いた本社技術本部土木技術部、土木本部設計部、LNGプロジェクトチームおよび袖ヶ浦土木工事事務所の関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 笠井芳夫: コンクリートの凝結・硬化に関する一考察, セメント技術年報X X III, (1969), pp. 214~218
- 2) 烏田専右: レデーミクストコンクリートによるコールドジョイントの性質, 日本建築学会論文報告集, 第135号, (昭和42. 5), pp. 10~19
- 3) 遠藤孝夫, 青柳征夫: 引張り・せん断組み合わせ応力下におけるコンクリートの強度, セメント技術年報32, (1978), pp. 243~246