

論文 打継ぎによるコンクリートの強度低下に関する研究

陶 佳宏*1・松下 博通*2・鶴田 浩章*3・上田 哲史*4

要旨: 本稿はコンクリートの初期欠陥の一つであるコールドジョイントが形成される時期や条件を明確にすることを目的とし, 新コンクリートの打継ぎ時間を変化させて, プリーディング量やプロクター貫入抵抗値とコールドジョイントの発生時期との関係を, コンクリートの曲げ強度比により検討した。さらにコールドジョイント形成が危惧される場合の処理方法についても評価した。その結果, コールドジョイントによる曲げ強度比の低下率はプリーディング量, プロクター貫入抵抗値, 配合や打設温度と関係しており, 打継ぎ面の処理を行うことで曲げ強度を改善することができた。

キーワード: 打継ぎ強度, 打継ぎ時間, プリーディング量, 貫入抵抗値, 打継ぎ面処理

1. はじめに

近年, コンクリート構造物がアルカリ骨材反応や塩害などにより劣化や損傷を引き起こしていることが顕在化し, さらに, 昨年6月の福岡トンネル覆工コンクリート落下を始め, 北九州トンネルやマンションのコンクリート壁の落下などの事故が相次ぎ, コンクリート構造物に対する危機感が社会を騒がせている。

本研究では, 福岡トンネル覆工コンクリート崩落事故の主要原因と考えられているコールドジョイントに着目した。コールドジョイントが形成すると, コンクリート構造物の耐久性や強度が低下することは知られている^{1)~5)}。そこで, コンクリートの打設環境, 打継ぎ時間および水セメント比を変化させて, プリーディング量やプロクター貫入抵抗値と打継ぎによる強度低下が生じる時期との関係をコンクリートの曲げ強度により評価した。

さらに, コンクリート構造物の施工時に何らかの原因でコンクリートの打設が中断された場合, 何らかの対策を取る必要がある。そこで, このような事態が生じた場合に, 実際に現場に

において実用可能であると思われる幾つかの処理方法について, 処理時間および上層コンクリートの打継ぎ時間を変えて供試体を作製し, 有用な処理対策について検討を行った。

なお, 本研究は福岡トンネル覆工コンクリート崩落事故の原因究明のみに留まらず, 今後建設されるコンクリート構造物において, 施工時に生じる初期欠陥の防止に貢献することを目的としている。

2. 実験概要

2.1 打継ぎによる強度低下に関する検討

(1) 使用材料

本実験で使用したセメントは普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm^3 , 比表面積: $3290\text{cm}^2/\text{g}$), コンクリート温度が 28°C の場合の細骨材は海砂(密度: 2.54g/cm^3 , 吸水率: 2.70% , 粗粒率: 2.52), 粗骨材は碎石(密度: 2.91g/cm^3 , 吸水率: 1.02% , 最大寸法: 20mm)であり, コンクリート温度が 20°C の場合の細骨材は海砂(密度: 2.55g/cm^3 , 吸水率: 2.45% , 粗粒率: 2.88), 粗骨材は碎石(密度: 2.78g/cm^3 ,

*1 九州大学大学院助手 工学研究科建設システム工学専攻 (正会員)

*2 九州大学大学院教授 工学研究科建設システム工学専攻 工博 (正会員)

*3 九州大学大学院講師 工学研究科建設システム工学専攻 工修 (正会員)

*4 九州大学工学部学生 建設都市工学科

表-1 コンクリートの配合表

コンクリート温度	Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (g/m ³)	連行剤 (ml/m ³)
						W	C	S	G		
28°C	20	8	2.0	45	41.6	173	384	681	1097	1200	-
				55	43.6	173	315	739	1094	984	-
				65	45.6	173	266	790	1083	831	-
20°C	20	12	4.5	45	43.0	175	389	720	1041	1361	933
				55	45.0	176	320	778	1037	1000	768
				65	47.0	175	263	833	1023	1346	592

吸水率：1.00%，最大寸法：20mm）である。
また、混和剤としてリグニンスルホン酸系 AE 減水剤と空気連行剤としてアルキルアリル酸系 AE 剤を混合して用いた。

(2) 配合および供試体

コンクリートの配合は、W/C=45%，55%，65%とし、それぞれにおいて打設時のコンクリート温度が28°Cおよび20°Cとなるように行い、28°Cの場合は、スランプ 8.0±1.0cm，空気量 2.0±1.0%となるように、20°Cのときは、スランプ 12.0±1.0cm，空気量 4.5±1.0%となるように混和剤の混入量を変化させることにより調整した。コンクリートの配合を表-1 に示す。

供試体は150×150×530mmの角柱供試体を作製し、脱型後標準水中養生を施したのち材齢28日目で3等分点曲げ強度試験を行い、打継ぎなしの場合との曲げ強度比により比較検討した。

供試体はすべて鉛直打継ぎとし、先ず下層コンクリートを型枠中央部まで打込んだ後、打設後所要時間が経過してから上層コンクリートを打継いだ。各層はそれぞれ2層に分け、突き棒にて23回（10cm²に1回）突いた（図-1）。打継ぎ時間は、温度28°Cの場合は0（打継ぎなし）、3、5、7時間で行い、温度20°Cの場合は0、2、3、4、5時間で行った。また、上層コンクリートを打継ぐ際には、突き固めの程度の違いにより生じる誤差をなくすことおよびコンクリートの硬化が進行すると突き固めることが困難になることを考慮して、下層コンクリートの位置まで突き棒が貫入しないように行った。

コンクリートを打設する際に、フレッシュコンクリートの特性として、ブリーディング試験

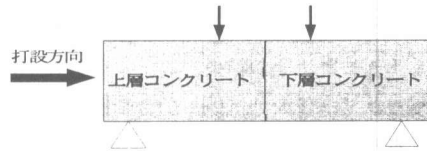


図-1 供試体図

(JIS A 1123) およびプロクター貫入抵抗値による凝結試験 (JIS A 6204) も同時に行った。

2.2 打継ぎ面の処理対策に関する検討

(1) 使用材料

本実験で使用した細骨材は海砂（密度：2.54 g/cm³，吸水率：2.70%，粗粒率：2.52），粗骨材は碎石（密度：2.91 g/cm³，吸水率：1.02%，最大寸法：20mm）である。

(2) 配合および供試体

配合はW/C=55%とし、実験2.1と同様にスランプ12.0±1.0cm，空気量4.5±1.0%となるよう設計した。

供試体についても同様に、150×150×530mmの角柱供試体を供試体中央部で鉛直打継ぎして作製した。処理方法としては、下層コンクリート打設後、所要時間経過してからモルタルまたはペーストを厚さ1cm程度に敷均し、所要時間経過後に上層コンクリートを打継いだ。本実験で使用したモルタルおよびペーストは、セメントの物理試験方法 (JIS R 5201) のフロー試験によりフロー値が210になるように水セメント比を調整して作製した。モルタルおよびペーストの配合を表-2 に示す。モルタル処理またはペースト処理は、プロクター貫入抵抗値が100psi（4.5時間）、500psi（始発：6時間）に達したときに行い、打継ぎ目にモルタル

またはペーストを敷均しただけのものに上層コンクリートを打継いだものと、モルタルまたはペーストを敷均してさらに下層コンクリートの上部まで突き棒を貫入させて突き固めたものの2種類を行った。上層コンクリートの打継ぎは、下層コンクリートのプロクター貫入抵抗値が 100psi, 500psi, 4000psi (終結: 8 時間) に達したときに行った。

表-2 モルタルおよびペーストの配合

	W/C(%)	S/C	W(kg)	C(kg)	S(kg)
モルタル	49	3.02	281	572	1372
ペースト	33	-	511	1547	-

また、バッチ外誤差をなくすために、打継ぎを有しない一体型の供試体については、コンクリートを打設するたびに毎回作製し、曲げ強度の比較を行った。

処理過程の概念図を図-2 に示す。

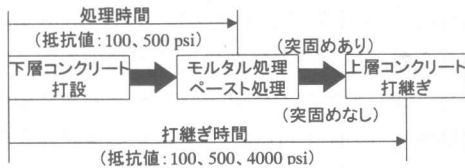


図-2 打継ぎ処理の概念図

3. 実験結果

3.1 打継ぎによる強度低下に関する検討

各配合のコンクリートのブリーディング量測定結果およびプロクター貫入抵抗試験結果をそれぞれ図-3, 図-4 に示す。水セメント比が大きくなるとブリーディング量も大きくなり、さらにブリーディング量が最大に達するまでの時間も長くなった。また、コンクリートの打設温度が 28℃ の場合は 20℃ の場合と比較して、ブリーディング量は極めて小さくなっており、最大を迎える時間も早くなったが、これは図-3 に示す貫入抵抗値の結果より、凝結の進行が早かったことが要因と考えられる。

プロクター貫入抵抗値の測定結果では、20℃ の場合、W/C が 45% と 55% では、注水より 7

時間経過した辺りからほぼ同じ値を示しているが、これは単位水量が同程度であるのに対し、W/C=55% の AE 減水剤および空気連行剤の使用量が少ないことが凝結の進行に影響しているものと考えられる。初期の段階における貫入抵抗値が読取りやすいように、図-4 を両対数

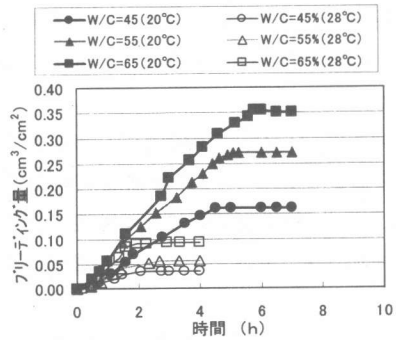


図-3 ブリーディング量測定結果

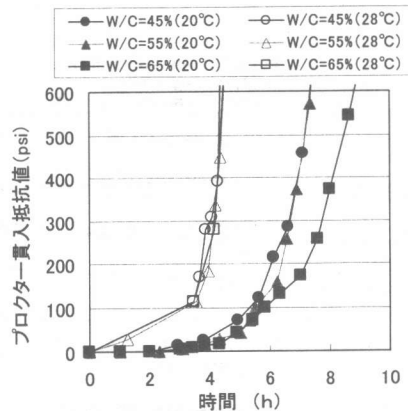


図-4 プロクター貫入抵抗値

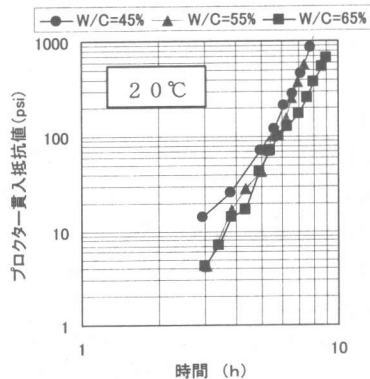


図-5 プロクター貫入抵抗値(両対数)

表示したものを図-5に示す。

打設現場において、簡易的にコンクリートの凝結状態を評価する方法に鉄筋を突き刺すことが考えられる。本研究ではD19の鉄筋をコンクリートに軽く突き刺したところ、注水から2時間が経過した時点では抵抗なく突き刺さったのに対し、3時間経過すると20mm程度しか突き刺さらなかった。このときの貫入抵抗値は2時間の場合が0psi、3時間の場合が10psiであった。

コンクリートの打設時温度が28℃の場合の打継ぎコンクリートの圧縮強度試験結果を図-6に示す。打継ぎ時間による強度の低下は認められず、コールドジョイントの形成による影響は小さいことが分かる。

次に、コンクリートの打設温度が28℃および20℃における打継ぎ面を有しない一体供試体

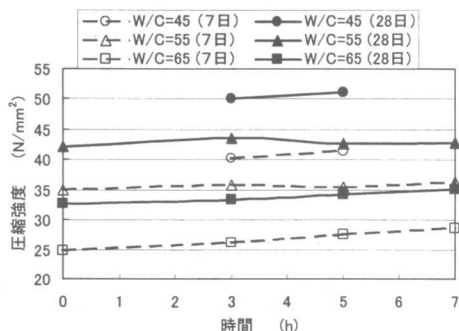


図-6 圧縮強度試験結果 (28℃)

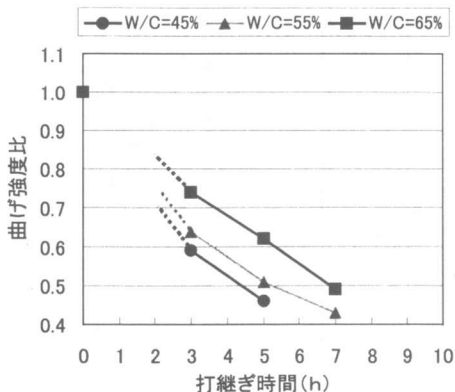


図-7 曲げ強度比の変化 (28℃)

の曲げ強度を1.0としたときの打継ぎ時間が曲げ強度比に及ぼす影響をそれぞれ図-7および図-8に示す。ここで、W/C=45, 55, 65%の一体供試体の曲げ強度は、28℃の場合は5.82 N/mm², 4.78 N/mm², 3.82 N/mm²であり、20℃の場合はそれぞれ5.90 N/mm², 4.89 N/mm², 4.24 N/mm²であった。曲げ強度比は、何れの配合においても打継ぎ時間が経過するとともに低下し、28℃では打継ぎ時間3時間で一体供試体の曲げ強度と比較して2割から4割の強度低下が認められ、7時間経過すると何れの配合においても5割以下の曲げ強度となった。また、水セメント比が大きいほど曲げ強度比の低下率は小さくなる結果となった。一方20℃では、打継ぎ時間が3時間以上になると2割から3割程度の強度低下が認められたが、打継ぎ時間が4時間以上では強度比は低下しなかった。さらにW/C=45%とW/C=55%では同程度の曲げ強度比となっているが、水セメント比が大きくなるほどその低下率も大きくなる傾向にあると考えられ、28℃の実験結果とは異なるものとなった。28℃の実験ではコンクリートの曲げ強度試験方法 (JIS A 1106) で使用する供試体を作製するための横打ち用型枠を縦打ちができるように改良して用いており、コンクリートを打設する際に多少の水漏れが生じた。これにより打設面のブリーディング水が流出し、コンクリート表層の凝結の進行が助長され、凝結速度の

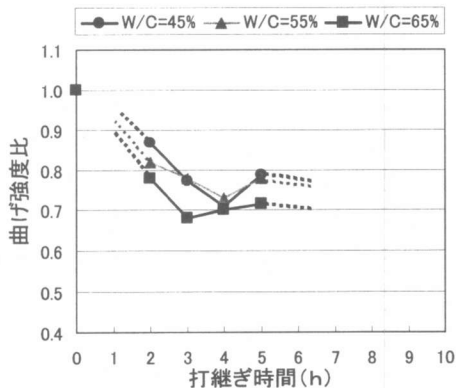


図-8 曲げ強度比の変化 (20℃)

速い W/C=45%のほうがより早くコールドジョイントが形成されたために曲げ強度比の低下率も大きくなったものと考えられる。そこで、水漏れのない型枠により作製した。20℃のコンクリートに着目し、図-3 に示すブリーディング量測定結果と比較すると、曲げ強度比の低下はブリーディング量が多いほど大きくなる傾向にあり、ブリーディング量が最大となる以前に低下傾向が始まる。これは、上層コンクリートを打設する際に下層コンクリートの表面に留まっていたブリーディング水が影響を与えたものと考えられ、適度なブリーディングはコンクリート表面の凝結の抑制に寄与しコールドジョイントの発生時期を遅くするが、過剰になると打継ぎ部の強度低下を招く事がわかる。次に、図-4 に示すプロクター貫入抵抗値の測定結果と曲げ強度比とを比較すると、コンクリートの凝結速度が速いほど曲げ強度比は小さくなっているものの、貫入抵抗値が0の時点で

も曲げ強度比の低下が顕在化しており、上層コンクリートを打継いだ時点で既に接合不良箇所が形成されているものと推測される。

また、コンクリートの凝結速度が急増する時間（プロクター貫入抵抗値=70~170psi 程度）とコールドジョイントが発生する時間が一致すると報告されている^{6), 7)}が、本実験では打継ぎ時間が2時間（貫入抵抗値=0psi）の段階において既に曲げ強度比が低下する結果となった。これは、上層コンクリートの打設時にコンクリートを突き固める際に、下層コンクリートまで突き固めるか否かの違いであり、新しいコンクリートを打設する際に前に打設したコンクリートまで突き固めなかった場合には、非常に早い段階で打継いだ場合であっても強度低下が見られることが分かった。この原因として、突き棒が下層コンクリートに貫入しないように上層コンクリートを打継いだことから、下層コンクリート上面に堆積したレイタンスが乱

表-3 打継ぎ面処理一覧

	処理方法	処理時間(貫入抵抗値)	打継ぎ時間(貫入抵抗値)	突き棒
A	一体	-	-	無
B	処理なし	-	4.5時間 (100psi)	無
C		-	8.0時間 (400psi)	無
D	モルタル処理	4.5時間 (100psi)	4.5時間 (100psi)	有・無
E		4.5時間 (100psi)	6.0時間 (500psi)	有・無
F		4.5時間 (100psi)	8.0時間 (400psi)	有・無
G		6.0時間 (500psi)	8.0時間 (400psi)	無
H	ペースト処理	4.5時間 (100psi)	4.5時間 (100psi)	有・無
I		4.5時間 (100psi)	6.0時間 (500psi)	有・無
J		4.5時間 (100psi)	8.0時間 (400psi)	有・無
K		6.0時間 (500psi)	8.0時間 (400psi)	無

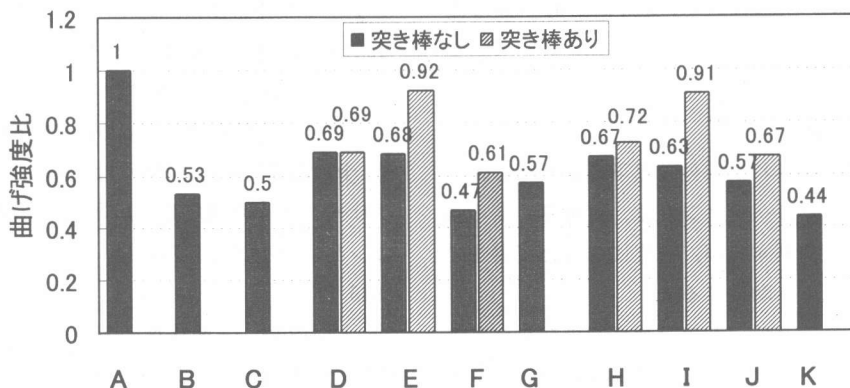


図-9 打継ぎ面の処理による曲げ強度試験結果

されず、下層コンクリートと上層コンクリートが一体化しなかったものと考えられ、突き固め方法の違いによる下層コンクリートと上層コンクリートとの境界面の混ざり具合の相違により、強度低下が発現する時期も異なると言える。

3.2 打継ぎ面の処理対策に関する検討

打継ぎ面の処理一覧を表-3 に、打継ぎ面の処理を行った供試体の曲げ強度比を図-9 に示す。打継ぎを有しない一体供試体の曲げ強度の平均は 5.39N/mm^2 であった。供試体の打継ぎ面にモルタルやペーストを敷均すことで、処理時間 4.5 時間（貫入抵抗値：100psi）、打継ぎ時間 6 時間（貫入抵抗値：500psi）までは、処理をしない供試体と比較して曲げ強度比が増加した。しかし、処理時間がコンクリートの始発である 6 時間以降、あるいは打継ぎ時間が終結である 8 時間（貫入抵抗値：400psi）になるとモルタル処理およびペースト処理を行っても曲げ強度比の増加は見られなかった。また、モルタルおよびペーストを敷均し、さらに突き棒で突き固めることによって、曲げ強度の回復は大きくなる傾向にあり、特に図中の E, I においては著しく強度が回復している。これは突き固めることにより下層コンクリートと処理材料が一体となり、処理を行ってから上層コンクリートを打継ぐまでの時間が 1.5 時間しか経過していないため処理材料と上層コンクリートの付着も良好であったためと考えられる。モルタルとペーストの処理材料による相違は認められなかった。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 適度なブリーディングは、打継ぎによる強度低下を抑制するが、過度になると打継ぎによる強度低下を助長する。
- 2) 下層コンクリートまで突き固めなかった場合は、プロクター貫入抵抗値が 0psi（打継ぎ時間 2 時間）の時点でも曲げ強度比が低下する。

3) コンクリートの打継ぎによる強度低下には、凝結速度、ブリーディング、配合および打設温度などの要因が関連していることが分かったが、明確な関係を求めるには到らなかった。

4) モルタルおよびペーストを打継ぎ面に敷均すことで強度比が大きくなった。さらに突き棒にて突き固めることによってその効果は大きくなった。

本研究では、上層コンクリートを打設する際に下層コンクリートまで突き棒が達しないように供試体を作製したため、打継ぎによる強度低下が生じる時期が早く、強度低下が生じる限界点について究明することができなかったが、今後、さらに早い時期での打継ぎを行い強度低下が生じる限界点を求めるとともに、下層コンクリートまで突き固めた供試体との比較も検討したい。

参考文献

- 1) 松藤泰典：打込み時におけるコンクリートの問題点 その 3、セメント・コンクリート、No.430, pp.46-51, 1983.2
- 2) 金岡伸幸ほか：《高性能減水剤を用いた施工》超遅延剤を併用した例—コールドジョイントの予防—、セメント・コンクリート、No.427, pp.56-58, 1982.9
- 3) 鈴木忠彦：コンクリートの打継ぎと一体性、建築技術、pp.144-145, 1988.11
- 4) 佐治泰次、松藤泰典：初期材齢におけるコンクリートの諸性状、コンクリート工学、Vol.19, No.5, pp.3-12, 1981.5
- 5) 岡田 清、六車 熙編：コンクリート・ハンドブック、朝倉書店、p.285, 1981
- 6) 十河茂幸：講座 特殊な材料を用いたコンクリート（その 8）II-3 遅延剤と超遅延剤、コンクリート工学、Vol.24, No.5, pp.76-84, 1986.5
- 7) 十河茂幸、三浦律彦：コールドジョイントの防止対策とその判定法、セメント・コンクリート、No.448, pp.8-19, 1984.1