

論文 打重ねコンクリートの耐久性に関する基礎的研究

陶 佳宏*¹・松下 博通*²・藤本 良雄*³・亀澤 靖*⁴

要旨：コンクリートを打ち重ねると諸々の問題が生じることが考えられ、特に鉄筋コンクリートにおいては耐久性が重要となる。しかし、打重ねコンクリートの耐久性に関する報告は少なく不明確な点が多い。そこで本稿では、打重ねを行なうコンクリートのプロクター貫入抵抗値を変化させた供試体を作製し、促進中性化試験および塩水噴霧試験を行なった。その結果、打重ね面では中性化深さおよび塩化物イオンの浸透深さは健全部と比較して大きくなり、健全部と浸透領域の比では塩化物イオンの浸透よりも中性化の方が大きくなる結果となった。

キーワード：打重ねコンクリート、促進中性化試験、塩水噴霧試験、凝結時間

1. はじめに

平成11年6月、山陽新幹線の福岡トンネル内を通過中の新幹線の上に重さ約200kgのコンクリート塊が落下するという事故が発生し、コンクリート構造物の安全性が社会問題となった。この事故の一因として、トンネル覆工コンクリートの施工時にコールドジョイントと呼ばれる初期欠陥が発生しており、これがコンクリートの経年劣化を促進していたことが推定された。

土木学会のコンクリート標準示方書においては、練混ぜから打ち終わるまでの時間を施工時の気温により90～120分に制限してコールドジョイントの発生を抑制するように規定されているが、その発生条件や防止対策法あるいは何らかのトラブルにより発生した場合の構造物へ与える影響度や処置方法については未だ不明確であるため、より詳細な検討が必要とされている。

コールドジョイントの発生にはコンクリートの凝結性状が大きく影響することは容易に推測され、打重ねの限界を単純に時間を指標として表すのは困難であると考えられる。そこで既往

の研究¹⁾や平成11年度に開設された土木学会「コンクリートのコールドジョイント問題小委員会」²⁾において、コールドジョイントの発生時期をASTM C-403「プロクター貫入抵抗試験」に規定されるプロクター貫入抵抗値を指標として判断することが試みられた。同様に著者らは、これまでに打重ねの限界をプロクター貫入抵抗値により判断し、打重ね面の処理の有意性を示した^{3), 4), 5)}。しかし、これらの報告の多くはコールドジョイントの耐荷性能に関することであり、特に鉄筋コンクリートにおいて問題となる耐久性について究明した報告は少ない。

そこで本稿では、打重ねを行なうコンクリートのプロクター貫入抵抗値を変化させて供試体を作製し、促進中性化試験および塩水噴霧試験を行ない、コールドジョイントの耐久性について検討を行なった。

2. 打重ねコンクリートの耐荷性能

本章では、打重ね時間間隔を変えた供試体を作製し、打重ねがコンクリートの曲げ強度に与

*1 九州大学大学院助手 工学研究院建設デザイン部門 (正会員)

*2 九州大学大学院教授 工学研究院建設デザイン部門 工博 (正会員)

*3 (株)富士ビー・エス 福岡支店技術部部长 (正会員)

*4 大成建設(株) 九州支店土木部課長 M.S. (正会員)

える影響を明確にし、コールドジョイントの発生時期について検討した。この際、先に打ち込むコンクリート（以下、下層コンクリート）のブリーディング量およびプロクター貫入抵抗値を測定した。

2. 1 実験概要

(1) 使用材料

本実験で使用した材料は、セメントとして普通ポルトランドセメント（密度： 3.16g/cm^3 ，比表面積： $3290\text{cm}^2/\text{g}$ ），細骨材として海砂（密度： 2.58g/cm^3 ，吸水率： 1.60% ，粗粒率： 2.67 ），粗骨材として碎石（密度： 2.91g/cm^3 ，吸水率： 0.70% ，最大寸法： 20mm ），混和剤としてリグニンスルホン酸系 AE 減水剤とアルキルアリスルホン酸系 AE 剤を併用して用いた。

(2) 配合

コンクリートの配合は $W/C=55\%$ とし、スランブが $12.0\pm 2.5\text{cm}$ ，空気量が $4.5\pm 1.0\%$ となるように混和剤の量を変化させて調整した。コンクリートの配合を表 - 1 に示す。

表 - 1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m^3)			
		W	C	S	G
55	44	175	318	777	1115

(3) 供試体

供試体は $10\times 10\times 40\text{cm}$ の縦打ちとし、室温 20°C のもとで先ず下層コンクリートを型枠中央部まで打設し、同時に測定したプロクター貫入抵抗値が所定の値に達したときに下層コンクリートの上部に同配合のコンクリートを打ち重ねた（以下、上層コンクリート）。土木学会「コンクリートのコールドジョイント問題小委員会」²⁾ においてコールドジョイントを発生させるプロクター貫入抵抗値が $0.07\sim 1.05\text{N/mm}^2$ の間に存在するとされているが、本研究においては打重ねの際に下層まで突き固めを行わないことからそれ以前に存在するものと予測し、所定の値を 0.015 ， 0.04 ， 0.07 ， 3.5N/mm^2 とした。各層

はそれぞれ 2 層に分け、突き棒にて 23 回 (10cm^2 に 1 回) 突き固め、型枠を木槌にて軽打した。また、上層コンクリートを打ち重ねる際には、下層コンクリートの上面に堆積したブリーディング水は除去することなく、突き棒が下層コンクリートまで貫入しないようにして行なった。打設開始から脱型まで室温 20°C ，湿度 $60\%\text{RH}$ の室内に静置した。脱型後、水中養生を施した後、材齢 28 日で 3 等分点曲げ試験を行った。また、供試体は各打重ね時間間隔につき 2 本とした。供試体の一覧表を表 - 2 に示す。

表 - 2 供試体の一覧表

供試体	打重ねを行なったプロクター貫入抵抗値 (N/mm^2)
N	0
C-1	0.015
C-2	0.04
C-3	0.07
C-4	3.50

2. 2 実験結果

ブリーディング量とプロクター貫入抵抗値の測定結果をそれぞれ図 - 1，図 - 2 に示す。プロクター貫入抵抗試験は、ロードセルを用いて最小荷重を 0.01N まで測定した。

最終ブリーディング量は $0.462\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であり、その時間はおよそ 5.5 時間であった。また、打重ねを行なった時間はプロクター貫入抵抗値が、 0.015N/mm^2 のとき 0.5 時間、 0.04N/mm^2 のとき 2.0 時間、 0.07N/mm^2 のとき 4.5 時間、

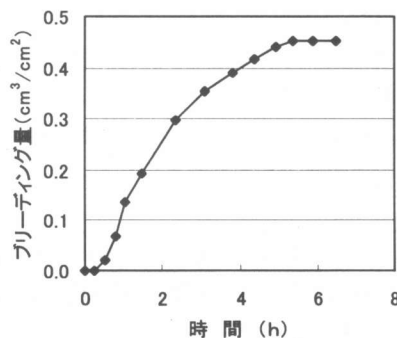


図 - 1 ブリーディング試験結果

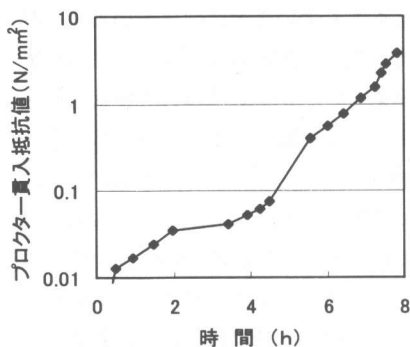


図 - 2 プロクター貫入抵抗試験の結果

3.5 N/mm² (始発) のとき 7.8 時間であった。また、図 - 2 には始発までのプロクター貫入抵抗値を示しているが、終結は 9.6 時間であった。

プロクター貫入抵抗値と打重ね時間間隔を変化させた場合の曲げ強度を一体供試体の曲げ強度で除した曲げ強度比との関係を図 - 3 に示す。

打重ねを行なわない N 供試体の曲げ強度は 5.49 N/mm² であり、打重ねを行なった供試体の一体供試体との曲げ強度比は、C-1 が 0.83、C-2 が 0.72、C-3 が 0.55、C-4 が 0.29 であった。下層コンクリートが始発に達した状態で打重ねを行なうと一体供試体の 3 割程度まで曲げ強度は著しく低下し、0.015 N/mm² (打重ね時間間隔：30 分) で打重ねても 2 割弱の強度低下が認められた。このように比較的早期に打ち重ねて

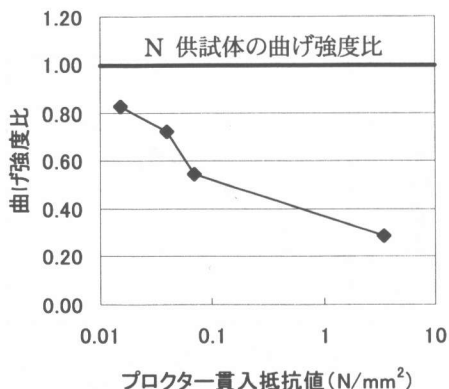


図 - 3 プロクター貫入抵抗値と曲げ強度比の関係

も曲げ強度が低下したことは、上層コンクリートを打ち重ねる際に下層コンクリートまで突固めを行なっていないことが大きく影響しており、打重ね時間間隔が短時間であっても打設する際には十分な突固めを行なう必要がある。

曲げ強度試験による供試体の破壊形態は、一体供試体の場合は打重ね面以外で破断しており、破断面も凹凸であったのに対し、打重ねを行なった供試体では、破断面は平滑であり、打重ね面で破壊した。

3. 打重ね面の耐久性能

3.1 中性化深さ

(1) 実験概要

使用材料、配合および供試体の作製方法は 2 章に示す方法と同一である。

既往の研究において、中性化促進試験における養生方法や試験環境は様々であり⁶⁾、建築学会においても「コンクリートの促進中性化試験方法 (案)」⁷⁾ が規定されている。

本実験においては、打重ねによりコールドジョイントが発生した供試体と健全な供試体での中性化深さを相対的に評価することを目的とし、試験条件を以下のように定めた。

供試体は打設から 24 時間経過後に脱型し、材齢 7 日まで水中養生を行い、直ちに促進中性化試験を開始した。促進環境は、二酸化炭素濃度 15%、温度 30℃、湿度 60%RH であり、促進期間を 2 週間とした。この際供試体は、打設面が上面となるようにし、それぞれの供試体の間に十分な間隔が確保できるようにして配置した。

中性化促進が終了した後、直ちに供試体を打設方向と平行に割裂し、割裂面にフェノールフタレイン 1% アルコール溶液を噴霧して赤変しない部分を中性化領域として測定した。

供試体はそれぞれの打重ね時間間隔について 2 本とした。また、打重ね部の中性化深さは、割裂面の左右を測定し、合計 4 箇所の測定値を平均して表した。

(2) 実験結果

表 - 3 にそれぞれの供試体の健全部と打重ね部の中性化深さの測定結果を、図 - 4 に打重ねを行なったプロクター貫入抵抗値とそれぞれの供試体の打重ね部の中性化深さを健全部の中性化深さで除した中性化深さ比の関係を示す。健全部の中性化深さは、打重ね面から±5, 10cm の位置で測定し平均した。この際、測定位置に粗骨材が存在した場合は、粗骨材の影響がない位置で測定を行なった。

打重ね時間間隔が長くなるに従って打重ね面の中性化は奥まで進行しており、プロクター貫入抵抗値が $0 \sim 0.07 \text{ N/mm}^2$ となる間に打ち重ねた供試体において中性化深さは急激に増加しており、これ以前の段階で打重ね不良部が形成されたものと推測される。また、C-2 供試体は N 供試体の 2.03 倍、C-4 供試体は 3.27 倍の中性化深さ比となっており、平成 11 年版土木学会「コンクリート示方書」(施工編)では W/C が 50% 以下の場合、一般に中性化に関する照査を

行わなくてもよいことになっているが、打重ね不良部が発生した場合は十分な注意が必要である。写真 - 1 に C-4 供試体の赤変状況を示す。C-4 供試体は、図 - 3 から分かるように上層と下層コンクリートの付着が十分でないために、供試体を割裂した際に打重ね面で破断を生じた。打重ね面から離れた位置での中性化深さは、一供試体の中性化深さと同等の 5.5mm 程度であり、中性化の進行は打重ね面に極めて近い領域において大きくなった。

図 - 5 に曲げ強度比の低下率と中性化深さ比の関係を示す。中性化深さは曲げ強度が低下するに連れて大きくなる傾向にある。しかし、打重ねにより曲げ強度が 2 割程度低下しても中性化深さに与える影響は小さいと言える。

表 - 3 促進中性化試験の結果

供試体	中性化深さ(mm)	
	健全部	打重ね部
N	5.05	-
C-1	5.76	6.71
C-2	5.31	10.77
C-3	5.23	13.56
C-4	5.10	16.67

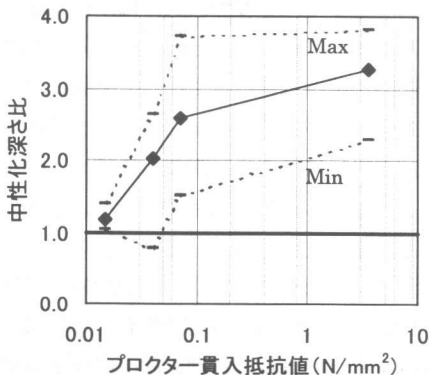


図 - 4 プロクター貫入抵抗値と中性化深さ比の関係

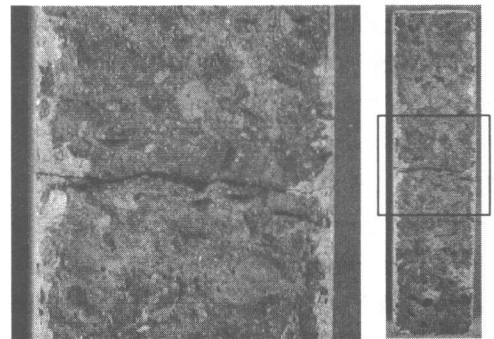


写真 - 1 中性化状況
(打重ね時貫入抵抗値: 3.5 N/mm^2)

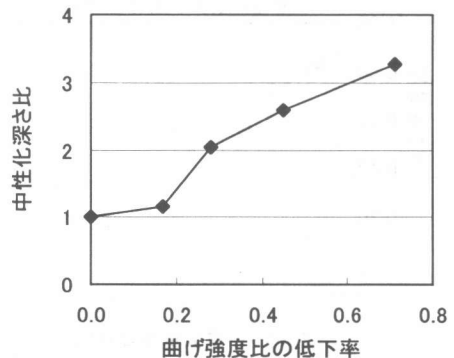


図 - 5 曲げ強度比の低下率と中性化深さ比との関係

3. 2 塩化物イオン浸透深さ

(1) 実験概要

使用材料、配合および供試体の作製方法は 2 章に示す方法と同一である。

塩化物の浸透を促進する試験については、供試体を塩水中に浸漬する方法⁹⁾が試みられているが、本実験においては、海岸構造物や飛沫帯のコンクリートを対象として、塩水噴霧試験を以下の条件で行なった。

供試体は打設から 24 時間経過後に脱型し、材齢 7 日まで水中養生を行い、直ちに塩水噴霧試験を開始した。試験環境は、塩水噴霧乾燥装置によって温度 30℃のもとで 3%NaCl 水溶液を 12 時間噴霧後、12 時間乾燥し、これを 1 サイクルとして 20 サイクル繰り返した。その後供試体を打設方向と平行に割裂し、割裂面に 0.1 規定 AgNO₃ 水溶液を噴霧し白色に変化した部分を塩化物浸透深さとして求めた。

供試体はそれぞれの打重ね時間間隔について 2 本とした。また、打重ね部の塩化物イオンの浸透深さは、割裂面の左右を測定し、合計 4 箇所の測定値を平均して表した。

(2) 実験結果

表 - 4 にそれぞれの供試体の健全部と打重ね部の塩化物浸透深さの測定結果を、図 - 6 に打重ねを行なったプロクター貫入抵抗値とそれぞれの供試体の打重ね部の塩化物イオン浸透深さを健全部の浸透深さで除した塩化物イオン浸透深さ比の関係を示す。健全部の塩化物イオン浸透深さは、打重ね面から±5, 10cm の位置で測定し平均した。この際、測定位置に粗骨材が存在した場合は、粗骨材の影響がない位置で測定した。

表 - 4 塩化物浸透深さの結果

供試体	塩化物浸透深さ(mm)	
	健全部	打重ね部
N	13.5	13.5
C-1	12.5	15.5
C-2	12.0	17.0
C-3	14.0	16.8
C-4	12.5	15.3

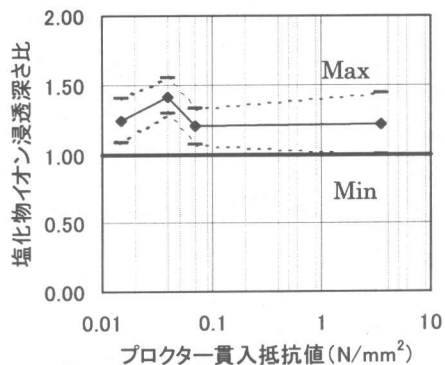


図 - 6 プロクター貫入抵抗値と塩化物浸透深さ比の関係

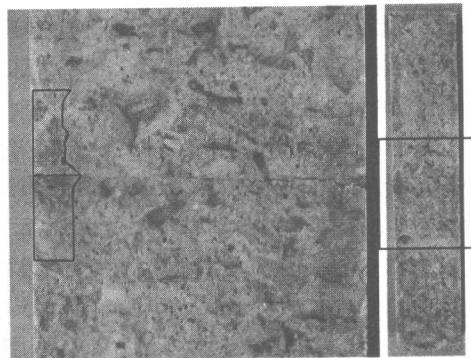


写真 - 2 塩化物イオン浸透状況

(打重ね時貫入抵抗値 : 3.5N/mm²)

連続して打重ねを行なわなかった供試体の打重ね面では、N 供試体と比較して塩化物イオンの浸透深さが大きくなっているが、プロクター貫入抵抗値と浸透深さ比の間には明確な相関関係が認められなかった。

写真 - 2 に C-4 供試体に硝酸銀を吹き付けた直後の状況を示す。左図の枠で囲った部分が白色化した領域である。

図 - 7 に曲げ強度比の低下率と塩化物イオン浸透深さ比の関係を示す。打重ねを行なった供試体の塩化物の浸透深さ比は、N 供試体と比較して若干大きくなったが、曲げ強度比の低下率によってその値に大きな差異はなく、曲げ強度比の低下率の影響は小さいと考えられる。

また、試験環境が異なるため一概には言えな

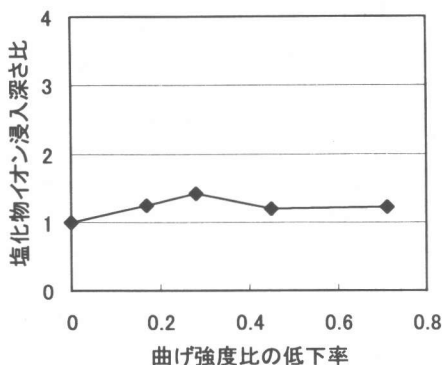


図-7 曲げ強度比の低下率と塩化物イオン浸透深さの関係

いが、一般的な飛沫帯環境に近い塩分噴霧試験では中性化深さと比較すると、健全部での塩化物浸透深さは中性化深さの2倍以上となっており、塩化物イオンの浸透速度が大きいことが分かる。しかし、打重ね面における一体供試体との比をみると、C-4 供試体の場合、中性化深さは3.27 倍であったのに対し、塩化物浸透深さは1.22 倍程度であったことから、打重ねによる塩化物イオンの浸透速度に与える影響は中性化速度に与える影響よりも小さいと判断できる。この要因として、塩化物イオンの浸透には水の浸透によるものであり、打重ねによる欠陥部では、透水性に比べて透気性が大きいことが推測されるが、塩化物のイオン濃度や分布範囲についての検討を行っていないため、打重ね部分の透気・透水性能を含めて今後の課題である。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 中性化深さは、打重ね面の近傍においてその進行が速く、始発時間で打ち重ねた供試体では一体供試体のおよそ3 倍であった。また、打重ねにより曲げ強度が2 割程度低下しても、一体供試体と同等の中性化深さであった。
- (2) 塩化物イオンの浸透深さは、打重ねを行なうことにより一体供試体よりも若干大きい

結果となったが、曲げ強度比の低下率による影響は小さいものであった。

- (3) 一体供試体および打重ねを行なった供試体の健全部での試験結果によれば、塩化物イオンの浸透が中性化深さの進行に比べて大きく、打重ね面では中性化深さの進行のほうが大きくなった。土木学会「コンクリート示方書」(施工編)ではW/C が50%以下の場合、一般に中性化に関する照査を行わなくてもよいことになっているが、打重ね不良部が発生した場合は十分な注意が必要である。

参考文献

- 1) 例えば、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
- 2) 土木学会：コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策，コンクリートライブラリー103，2000
- 3) 上田哲史，松下博通，鶴田浩章，陶 佳宏：打ち継ぎ目を有するコンクリートの一体性についての研究，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，第1 分冊，pp.818-819，2000
- 4) 陶 佳宏，松下博通，鶴田浩章，古賀源象：打重ねコンクリートの一体性の評価に関する研究，土木学会第55 回年次学術講演会講演概要集，第5 部，pp.832-833，2000
- 5) 陶 佳宏，松下博通，鶴田浩章，上田哲史：打継ぎによるコンクリートの強度低下に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22-1，pp.265-270，2000
- 6) 例えば，佐伯竜彦，長滝重義：混和剤を用いたモルタルの炭酸化による強度変化，セメント・コンクリート論文集，No.49，pp.680-685，1995
- 7) (社)日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説，丸善，pp179-184，1991
- 8) 例えば，鳥居和之，川村満紀，笹谷輝彦：高炉スラグ微粉末コンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性，セメント・コンクリート論文集，No.50，pp.456-459，1996