

論文 打継目を有するコンクリートの耐凍結融解性

鈴木英高^{*1}・迫田恵三^{*2}

要旨：本研究は、打継ぎを行ったコンクリートの凍結融解環境下における付着性状について検討を行うことを目的とし試験を行った。ウォータージェットにより表面処理したコンクリートに、各種打継材料を水平方向に打継いだ供試体を用いて促進凍結融解試験を行った。その結果、質量減少率や相対動弾性係数は、表面処理用コンクリートや打継材料の違いによって顕著な差が見られた。凍結融解試験後の付着強度試験は表面部分での破壊が多く見られ、凍結融解サイクル終了後の付着強度は、表面処理用コンクリートと打継材料の組み合わせに関わらず 1.0N/mm^2 以上の値を示し、凍結融解抵抗性は高いと考えられる。

キーワード：ウォータージェット，打継目，凍結融解試験，付着強度

1. はじめに

現在わが国では、様々な環境下に鉄筋コンクリート構造物が設置されているが、近年では多くの補修工事が行われており構造物の耐久性向上を目的とした取り組みが多く行われている。補修を行った構造物の耐久性は、補修に使用する材料、構造物の劣化状態、補修材料の施工状態などにより大きく変化すると考えられる。また、補修を行った際に生じる打継目部分は打継材料や施工条件などにより弱点となり得る部分であり、打継目部分からの補修材料の剥離やひび割れなどが発生する可能性も考えられる。以上のことから今後は補修後の耐久性について検討する必要があると考えられる。打継目を有するコンクリートの耐久性については、これまでも数多くの知見が報告されている。^{1),2)}しかし、補修を行った構造物の耐久性の中でも凍結融解作用に関する研究は少ないのが現状である。

そこで本研究では打継目を有するコンクリートの耐凍害性に注目し、ウォータージェットにより表面処理したコンクリートに各種打継材料を打継いだ供試体を用いて凍結融解試験を行った。表面処理用コンクリートの水セメント比は3種類とし、打継材料は普通コンクリート、超速

硬セメントコンクリートおよび無収縮モルタルの3種類とした。また、凍結融解試験終了後の付着性状についても検討するために付着強度試験を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料および配合

本試験で使用した供試体の配合を表-1に示す。表面処理用コンクリート（以下旧コンクリート）は普通コンクリートの水セメント比40, 50, 60%の3種類である。また、打継材料は普通コンクリート（以下N）、超速硬セメントコンクリート（以下U）及び無収縮モルタル（以下M）を使用した。普通コンクリートに用いたセメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm^3 ）を使用した。超速硬セメントコンクリートには超速硬セメント（密度 3.04g/cm^3 ）また無収縮モルタルは無収縮セメント（密度 3.00g/cm^3 ）を使用した。

2.2 試験供試体

凍結融解試験に用いた供試体は $10\times 10\times 40\text{cm}$ の角柱供試体を使用した。試験供試体は旧コンクリートを5cmの高さで打設した後にウォータージェットにより表面処理し、各種材料を約5cm

*1 東海大学大学院 海洋学研究科海洋工学専攻（正会員）

*2 東海大学教授 海洋学部海洋土木工学科 工博（正会員）

の高さで打継いだ。

2.3 養生方法

旧コンクリートを作製後，標準水中養生を 4 週間行い，表面処理した後に各種材料を打継ぎ 4 週間標準水中養生を行った。

2.4 表面処理条件

表 - 2 の条件でロータリーノズル式のウォータージェットを用いて旧コンクリートの表面処理を行った。水圧をこのように変化させたのは，これまでの経験から，旧コンクリートの水セメント比に関わらず処理深さが 3～5cm 程度処理されるようにこのような処理条件とした。また，表面処理でのウォータージェットのノズル径は 0.3mm，スタンドオフは 20mm で一定とした。

3. 試験方法

3.1 旧コンクリートと打継材料の性質

円柱供試体を用いて圧縮強度試験，縦波伝播速度試験，動弾性係数試験および静弾性係数試験を行った。

3.2 凍結融解試験

旧コンクリートおよび各種打継材料の組み合わせの異なる供試体を用いて凍結融解試験を行った。凍結融解試験において，各材料の品質低下や打継目の付着性状によってはサイクルが進むにつれて各測定値にも低下が見られることが考えられる。よって本研究では 300 サイクル終了までの各測定値による凍結融解抵抗性について検討を行った。写真 - 1 に示すように測定時は打継目が中央になるように供試体を配置し，旧コンクリート側と打継材料側の両側に超音波の端子をあてるように試験を行った。凍結融解試験では質量減少率，相対動弾性係数，相対超音波伝播速度の 3 項目により判定を行った。相対超音波伝播速度は高田ら³⁾によって簡易的な評価方法として考案された手法であるが本試験においてもこの値によって評価した。凍結融解試験は JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」の水中凍結融解試験方法(A 法)に準拠し試験を行った。1 サイクルを 3 時間以上 4 時間以内，

表 - 1 旧コンクリートと打継材料の配合

旧コンクリート

W/C	s/a	W	C	S	G	Ad
(%)	(%)	(kg/m ³)				
40	36	181	453	599	1078	0.23
50	43	181	362	744	1002	0.11
60	44	181	302	798	996	0.09

打継材料 普通コンクリート

W/C	s/a	W	C	S	G	Ad
(%)	(%)	(kg/m ³)				
50	43	181	362	744	1002	0.11

打継材料 超速硬セメントコンクリート

W/C	s/a	W	C	S	G	WRA
(%)	(%)	(kg/m ³)				
40	37	160	400	668	1156	10.9

WRA：高性能減水剤 遅延剤：0.8kg/m³

打継材料 無収縮モルタル

W/C	W	C	S
(%)	(kg/m ³)		
36	340	944	944

表 - 2 処理条件

旧コンクリート W/C (%)	40	50	60
水圧 (Mpa)	180	150	130
処理回数	2	2	2



写真 - 1 測定時の供試体と端子位置

最低温度 - 18±2，最高温度 5±2 とし，各測定は 30 サイクルごとに行った。相対超音波伝播速度は式 (1) より算出した。

$$RL = \left[\frac{VL_n^2}{VL_0^2} \right] \times 100 \quad (1)$$

RL：凍結融解 n サイクル後の相対超音波伝播速

度 (%)

VL_n : 凍結融解 n サイクル後の超音波伝播速度 (km/sec)

VL_0 : 凍結融解 0 サイクルにおける超音波伝播速度 (km/sec)

3.3 付着強度試験

凍結融解試験終了後の複合供試体を直径 5cm のコアボーリングにより深さ 7cm のところまで穴を開け、建設省建築研究所式付着強度試験機を用いて付着強度試験を行った。

4. 試験結果および考察

4.1 旧コンクリートおよび打継材料の性質

旧コンクリートおよび打継材料の材齢 28 日における性質を表 - 3 に示す。旧コンクリートの圧縮強度は $37.8 \sim 48.5 \text{ N/mm}^2$ を示した。また、打継材料の圧縮強度は無収縮モルタルの値が大きく、次に超速硬セメントコンクリート、普通コンクリートの順となった。

4.2 凍結融解試験

(1) 目視観察

試験終了後の供試体の目視によると、どの供試体においても打継目部分からの材料の剥離は見られなかった。旧コンクリートは水セメント比の大きい 60% の供試体が他の供試体と比較して、表面のモルタル部分がスケーリングによって剥離し骨材の表面が露出する結果となった。また、打継材料に着目すると、普通コンクリートは表面のセメントペースト部が僅かに剥離している程度であった。超速硬セメントコンクリートは凍結融解サイクル終了後も材料の剥離やポップアウトなどは見られなかった。無収縮モルタルは表面の一部分がスケーリングを起こし、セメントペーストの剥離が見られた。無収縮モルタルについては他の材料よりも空気量が少ないことからこのような結果になったと考えられる。

(2) 質量減少率

図 - 1 ~ 図 - 3 に旧コンクリートの水セメント比別の質量減少率を示す。すべての供試体にお

いて凍結融解サイクルが増すごとに質量は減少する傾向となった。全体的に水セメント比 60% の旧コンクリートに打継ぎをした供試体の質量

表 - 3 旧コンクリートと打継材料の性質
(材齢 28 日)

	旧コンクリート W/C (%)			打継材料		
	40	50	60	N	U	M
単位容積質量 (t/m^3)	2.33	2.34	2.36	2.35	2.45	2.22
縦波速度 (km/sec)	4.68	4.64	4.54	4.60	4.81	4.35
動弾性係数 ($\times 10^4 \text{ N/mm}^2$)	3.65	3.61	3.45	3.59	4.18	3.16
圧縮強度 (N/mm^2)	48.5	41.5	37.8	42.5	69.3	79.4
静弾性係数 ($\times 10^4 \text{ N/mm}^2$)	2.87	2.78	2.64	2.71	3.19	2.58

減少率が大きくなっていることがわかる。これは、目視による評価からもわかるように水セメント比が小さい供試体の方がスケーリングやポップアウトなどの劣化は少ないことから、このような結果になったと考えられる。

打継材料別に見ると、無収縮モルタルを打継いだ供試体の質量減少率が大きく、次に普通コンクリート、超速硬セメントコンクリートという結果となった。無収縮モルタルは粗骨材を使用していない材料であることから打継目部分への充填性は良好であると考えられるが、表面部分の劣化が激しいことから、質量減少率も大きくなったと考えられる。超速硬セメントコンクリートは目視による判断からも材料部分に大きな劣化は見られず質量減少率も少ない結果となった。

(3) 相対超音波伝播速度

相対超音波伝播速度は、高田ら³⁾が耐凍結融解抵抗性において簡易的な評価手段として提案した方法であるが、本試験においてもこの相対超音波伝播速度の結果によって凍結融解試験の評価を行うこととした。

旧コンクリートの水セメント比が 40% の供試体の相対超音波伝播速度を図 - 4 に示す。無収縮モルタルを打継いだ供試体は 60 サイクル付近か

らの低下が大きく，凍結融解サイクル終了後も他の打継材料よりも相対超音波伝播速度の値が小さくなった。質量減少率の結果からも分かるように，表面からの劣化が特に大きかったと考えられる。また，普通コンクリートと超速硬セメントコンクリートを打継いだ供試体の相対超音波伝播速度に大きな差は見られず凍結融解サイクル終了後においても約 85%の値を示した。

旧コンクリートの水セメント比が 50%の供試体の相対超音波伝播速度を図 - 5 に，旧コンクリートの水セメント比が 60%の供試体の結果を図 - 6 に示す。すべての打継材料において 30 サイクルから 90 サイクルにかけて値は大きく低下した。90 サイクル以降の値は緩やかに低下する傾向を示した。打継材料別には，超速硬セメントコンクリートと普通コンクリートが同等の値を示し，無収縮モルタルが低い値を示した。

また，相対超音波伝播速度の値はサイクルが進むにつれて値は低下したが，これは打継目に

おける付着性状が低下したためではなくそれぞれの材料の表面部分の劣化からこのようになったと考えられる。打継目部分は目視による判断によると材料剥離などが見られないことから各材料の表面部分の劣化からこのような結果になったと考えられ，ウォータージェットで表面処理した場合において本試験における 3 種の補修材料は凍結融解試験後も付着性も良好であり凍結融解抵抗性が高いと考えられる。

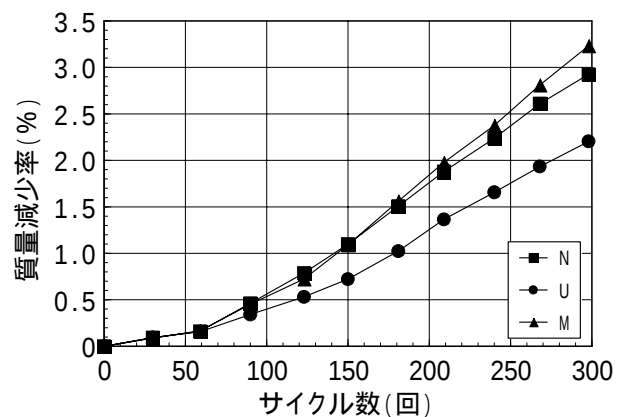


図 - 3 質量減少率 (旧コンクリート W/C 60%)

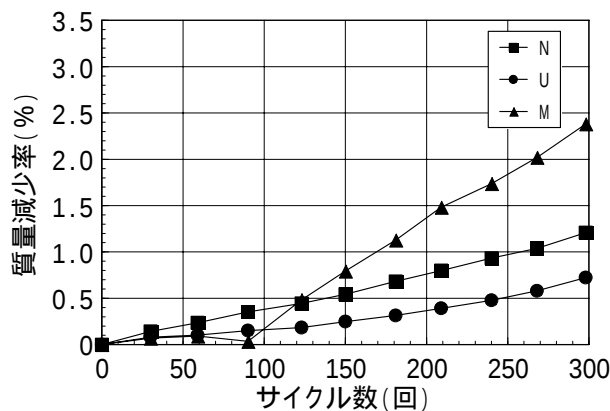


図 - 1 質量減少率 (旧コンクリート W/C 40%)

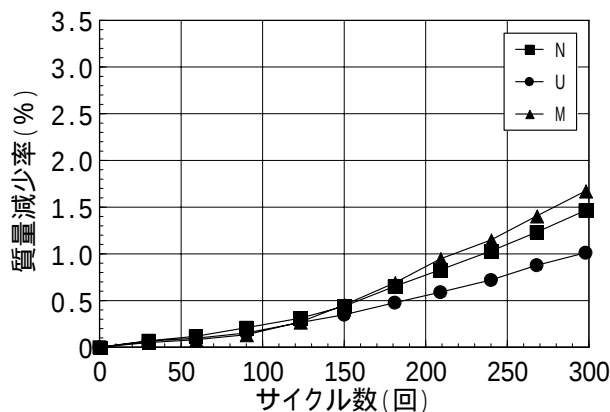


図 - 2 質量減少率 (旧コンクリート W/C 50%)

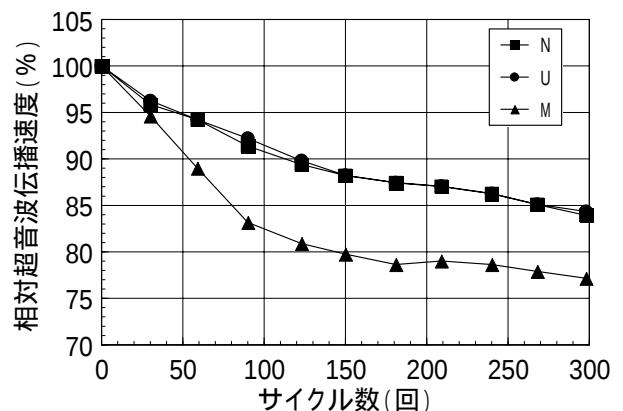


図 - 4 相対超音波伝播速度
(旧コンクリート W/C 40%)

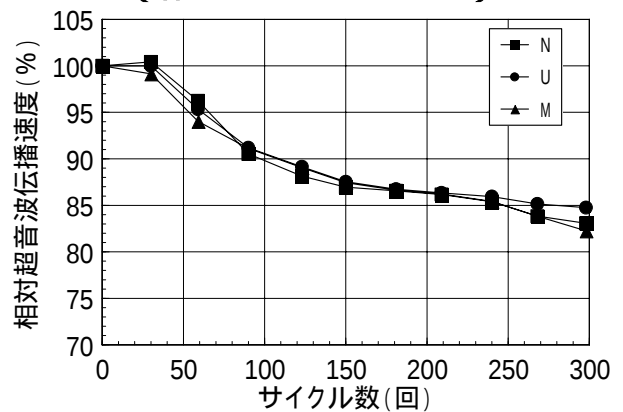


図 - 5 相対超音波伝播速度
(旧コンクリート W/C 50%)

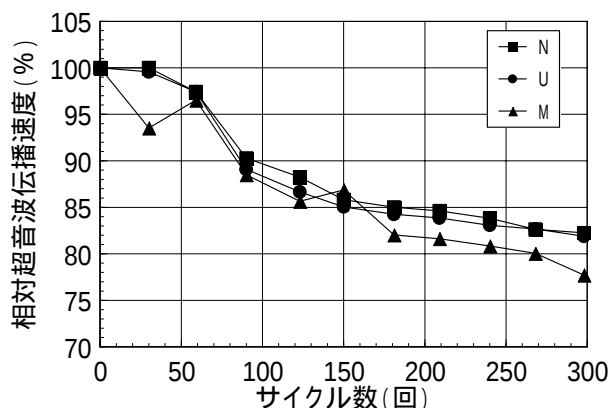


図 - 6 相対超音波伝播速度
(旧コンクリート W/C 60%)

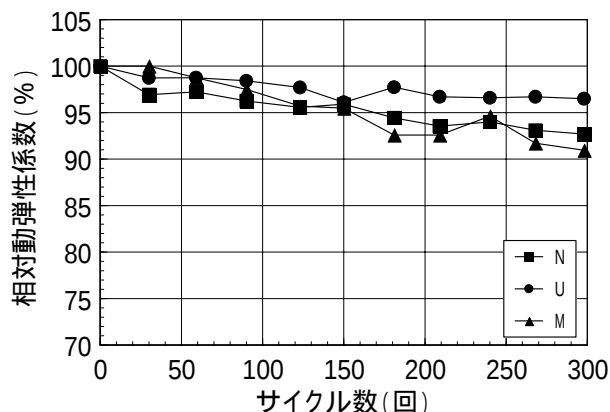


図 - 7 相対動弾性係数
(旧コンクリート W/C 40%)

(4) 相対動弾性係数

図 - 7 ~ 図 - 9 に旧コンクリートの水セメント比別の相対動弾性係数の結果を示す。

旧コンクリートの水セメント比 40% の場合、打継材料に関わらず 300 サイクル終了後においても相対動弾性係数は 90% 以上の値を示した。特に超速硬セメントコンクリートを打継いだ場合の供試体は、凍結融解サイクル開始から終了に至るまでほとんど低下は見られなかった。

旧コンクリートの水セメント比が 50% の場合、凍結融解サイクル開始から 30 サイクルに至るまでに大きな低下が見られ、その後緩やかに低下する傾向となった。旧コンクリートの水セメント比が 60% の場合は、凍結融解サイクル開始から 90 サイクルまで相対動弾性係数は低下し、その後大きな低下は見られなかった。

凍結融解サイクル終了後では旧コンクリートの水セメント比が大きい方が相対動弾性係数の値が低い傾向を示した。このことから、相対動弾性係数は打継材料よりも旧コンクリートに大きく影響を受けることが考えられる。打継材料と比較すると超速硬セメントコンクリートを打継いだ場合の低下が少ない結果となった。超速硬セメントは圧縮強度が無収縮モルタルの次に高く、水密性が他の材料よりも優れているという点から凍結融解抵抗性が高い材料であると考えられる。本研究においては、旧コンクリート

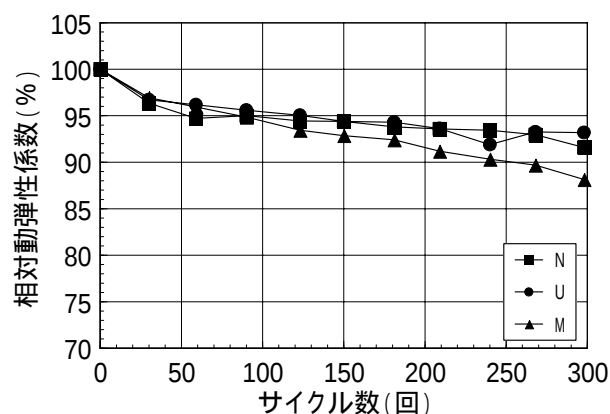


図 - 8 相対動弾性係数
(旧コンクリート W/C 50%)

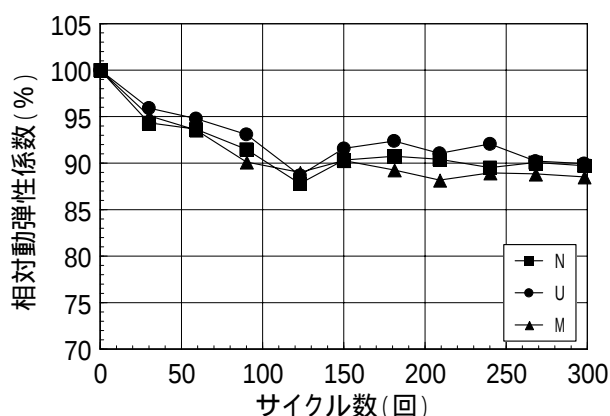


図 - 9 相対動弾性係数
(旧コンクリート W/C 60%)

の水セメント比や打継材料に関わらず相対動弾性係数の値は 85% 以上の結果を示し凍結融解抵抗性は高いと判断できる。

4.3 付着強度試験

付着強度試験での破壊箇所を表 - 4 に示す。付着強度試験での破壊箇所は、全体的に打継材料の表面部分での破壊が多く見られた。凍結融解作用を受けると供試体は表面部分からスケーリングやポップアウトなどの劣化が起こり、その後徐々に供試体内部に劣化が進展する。破壊箇所は表面部分が多いことから旧コンクリートと打継材料の付着強度よりも、打継材料の表面部分の引張強度が弱いことからこのような結果になったと考えられる。

付着強度の結果を図 - 10 に示す。全体的に見ると超速硬セメントコンクリートを打継いだ場合の付着強度が高く、無収縮モルタルを打継いだ場合の付着強度が低くなる傾向を示した。また、破壊箇所が打継材料の表面部分で多く起きているが、どの組み合わせの場合においても凍結融解試験後の付着強度が 1.0N/mm^2 以上の値を示したことから良好な付着強度を示していると考えられる。付着強度の面からは本試験で用いたすべての材料において付着強度は十分であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、打継目を有するコンクリートを用いて耐凍結融解抵抗性について検討すると共に、凍結融解サイクル終了後の付着強度について検討を行った。本研究において得られた知見を以下に示す。

- (1) 質量減少率は旧コンクリートの水セメント比により大きく異なる。
- (2) 凍結融解試験において相対超音波伝播速度の値の変化は相対動弾性係数と類似している傾向がある。
- (3) 相対超音波伝播速度と相対動弾性係数の結果、超速硬セメントコンクリートを打継いだ供試体の凍結融解抵抗性が高い結果が得られた。
- (4) 凍結融解試験後の付着強度はどの場合においても 1.0N/mm^2 以上の値を示し、良好な付着強度を示していると考えられる。

表 - 4 付着強度試験破壊箇所

旧コンクリート W/C (%)	打継材料	破壊箇所		
		旧コンクリート	打継目	打継材料
40	N	1	0	9
	U	3	2	9
	M	1	2	12
50	N	3	0	10
	U	8	4	2
	M	3	1	10
60	N	6	0	6
	U	8	0	4
	M	1	4	9

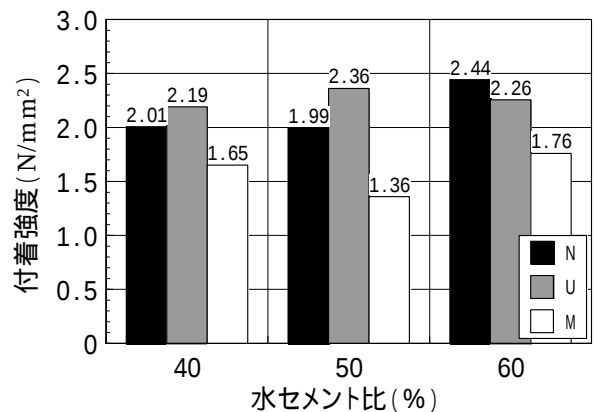


図 - 10 付着強度

(5) どの組み合わせにおいても打継目による材料の剥離などは見られず、凍結融解試験での各項目の値や付着強度からも凍結融解抵抗性は高いと考えられる。

参考文献

- 1) 伊藤正憲ほか：補修条件の違いによる補修後の再劣化に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp1701-1706，2004
- 2) 小長井彰祐ほか：鉄筋コンクリートの打継目に生じる中性化あるいは塩害による腐食形態と速度の評価，セメントコンクリート論文集，No.55，pp465-470，2001
- 3) 高田龍一ほか：超音波法によるコンクリートの耐凍結融解性能評価に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.1911-1916，2004
- 4) 日本道路公団：コンクリート片はく落防止対策マニュアル，2000