

Fc=100N/mm²を超える高強度コンクリートの補修方法に関する実験的研究

その2 ポリマーや膨張材を加えた高強度モルタルの性状と補修効果

安部 弘康* 桜井 徹* 石川 伸介* 立山 創一*

Experimental Study on Repair Method of High-Strength Concrete over Fc100N/mm²

Part 2 Properties and effects of repairing high-strength mortar that added polymer and expansive additive
by Hiroyasu ABE, Toru SAKURAI, Shinsuke ISHIKAWA and Souichi TATEYAMA

Abstract

The repair of voids in high-strength concrete over Fc100N/mm² often involved the use of high-strength mortar with coarse aggregate removed from concrete mixing. However, the influence in terms of the varying strength of such mortar is not well known, hence experiments on the properties and effects of the repair of high-strength mortar involving the addition of polymer and expansive additives were performed. Consequently likewise for repairs of high-strength concrete over Fc100N/mm², it was verified that the compressive strength of the specimen repaired with mortar using polymer and expansive additive was at a level approximately equivalent to the strength of a healthy specimen.

要 旨

Fc=100N/mm²を超えるような高強度コンクリート部材に未充填部などの不具合が生じた場合の補修には、コンクリートから粗骨材を抜いた調合の高強度モルタルが用いられている。しかしこうした高強度モルタルで補修した場合の、コンクリートとの一体性、各種強度に与える影響などは、不明な点も多い。そこで、補修材である高強度モルタルに、ポリマーや膨張材を混入し、その各種性状、補修効果を確認する実験を行った。その結果、Fc=100N/mm²を超えるような高強度コンクリート部材の補修においても、高強度モルタルにポリマーや膨張材を混入した補修材を用いることにより、健全なコンクリートと同程度の圧縮強度が確保されることが確認された。

キーワード：高強度コンクリート／補修／ポリマー／膨張材

1. はじめに

Fc=100N/mm²を超えるような、市販の補修材の保証強度を上回る高強度コンクリート部材に、補修が必要な不具合が生じた場合、コンクリートから粗骨材を抜いた調合の高強度モルタルが補修材として用いられている。しかし、こうした高強度モルタル自体の性状に関するデータは少なく、補修材とコンクリートとの一体性、補修方法や材料が補修後のコンクリートの各種強度に与える影響など、不明な点も多い。そこで、そのI[1]では、人為的に空隙欠陥を設けた供試体を、市販の補修材、コンクリート調合の高強度モルタルで補修し、圧縮強度、破壊性状の

違いを確認した。その結果、補修後の供試体の圧縮強度は、市販品、高強度モルタルの如何に関わらず、強度の大きい材料で補修したほうが大きく、補修効果が高いことが確認された。しかし、いずれの場合も、補修後の圧縮強度は、欠損を設けていない健全な供試体の90%程度であり、補修部がそのまま飛び出すような破壊性状のものが多く見られたことから、補修材の接着力が圧縮強度に影響していると考えられた。そこで、補修材である高強度モルタルに、市販のポリマーや膨張材を混入し、その各種性状、補修効果を確認する実験を行った。

* 技術研究所材料施工研究室

2. 実験概要

2.1 補修対象コンクリートの調査および材料

補修の対象とするコンクリートの調査は W/C=14%, 目標圧縮強度は150N/mm²とした。表1にコンクリートの使用材料を、表2に調査を示す。

2.2 補修材の調査および材料

補修材とする高強度モルタルの基本調査は、粗骨材を抜いたコンクリート調査から、細骨材を高強度用グラウトで使用される珪砂に置き換えたもので、W/Cはコンクリート同様14%である。補修材は、この高強度モルタルを基準に、珪砂をポリマー10,20,40kg/m³それぞれに容積比で置換したもので、さらに基準を含めこれらに膨張材を外割りで20kg/m³加えたもの、計8水準とした。ポリマーの密度は試験練りにより、1g/cm³とした。表3に補修材に使用した材料を、表4に調査を示す。ポリマーは、JIS A 6203に規定される市販のエチレン・酢酸ビニル共重合粉末樹脂 (EVA) を使用した。練り混ぜにはホバートミキサーを使用し、1水準につき2バッチ練り混ぜた。

2.3 試験項目と方法

a. 補修材の基本性能確認試験

表5に試験項目を示す。試験体の形状および寸法は、原則としてJIS A 1171の規定に準じたものである。圧縮強度については、角柱試験体で行う圧縮強さ試験とは別に、50×100mmの円柱供試験体を用いた。供試体の数は、ばらつきを考慮し5個とした。接着強さおよび接着耐久性試験については、事前の試行において、普通調合の市販の基盤 (ISO基準砂:セメント:水 = 3:1:0.5) で接着試験を行ったところ、補修材より基盤が著しく破壊する傾向が見られ、接着強さも頭うちとなったことから、本実験では各補修材のポテンシャルを確認するために、基盤は補修対象とするW/C=14%のコンクリートをウェットスクリーニングしたモルタルで作成した。また、接着試験体の下地処理としては、ポリマーと同メーカーのプライマー (エチレン・酢酸ビニル共重合体水性エマルジョン) を使用している。

b. 補修効果確認試験

試験体の概要を図1に、補修後試験体状況を写真1に示す。補修効果は、その1[1]同様、人為的に

表1 コンクリートの使用材料

材料	種類・特性
セメント(C)	シリカフェーム混入セメント T社製 密度:3.07g/cm ³
細骨材(S)	大井川水系陸砂 表乾密度:2.59g/cm ³
粗骨材(G)	青梅産砂岩砕石2005 表乾密度:2.66g/cm ³
混和剤(Ad)	高性能AE減水剤 B社製 (ポリカルボン酸系)
繊維	ポリプロピレン繊維 2.2dtex×2mm
練混ぜ水	上水道水

表2 補修対象コンクリートの調査

W/C (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					Ad C× (%)
		W	C	G	S	繊維	
14	2	155	1108	872	352	3	1.1

表3 高強度モルタルの使用材料

材料	種類・特性
珪砂 5号	山形産 密度:2.63g/cm ³ 、粒度範囲:0.85~0.075mm、吸水率:0.25%
ポリマー (P)	主成分:エチレン・酢酸ビニル共重合樹脂、不揮発分:99±1%以下 粒子径:2%以下(300μmふるい残分)、見掛け密度:400±100g/l
膨張材(EX)	早強性膨張材 T社製 石灰系 密度:3.19g/cm ³

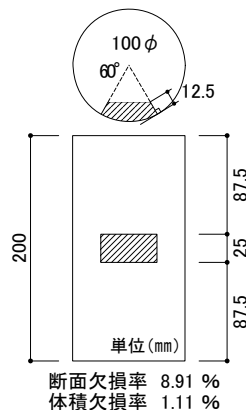
表4 高強度モルタルの調査

記号	W/C (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						Ad C× (%)	P/C C× (%)
			W	C	珪砂	繊維	P	EX		
P0EX0	14	3	231	1649	524	3	0	-	0.9	0
P1EX0					498	3	10	-	0.9	0.6
P2EX0					472	3	20	-	0.9	1.2
P4EX0					420	3	40	-	0.9	2.4
P0EX2					524	3	0	20	1	0
P1EX2					498	3	10	20	1	0.6
P2EX2					472	3	20	20	1	1.2
P4EX2					420	3	40	20	1	2.4

表5 補修材の試験項目と方法

試験項目	試験方法・供試体形状(mm)	個数
曲げ強さ	JIS A 1171 40×40×160	3
圧縮強さ	JIS A 1171 40×40×160 曲げ強さ試験片	3
圧縮強度	JIS A 1108 φ50×100	5
吸水率	JIS A 1171 40×40×160	3
透水量	JIS A 1171 φ150×40	3
長さ変化率	JIS A 1171 40×40×160	3
接着強さ	JIS A 1171 高強度モルタル基盤上に40×40×10で成形	5
接着耐久性*	JIS A 1171 形状は同上 温冷繰り返し10サイクル	5

*温冷繰り返し前の養生期間は規定と異なり5週



断面欠損率 8.91 %
体積欠損率 1.11 %

図1 試験体概要



写真1 補修試験体

欠損を設けたコンクリート供試体を各補修材で補修したものと、欠損のない健全供試体の圧縮強度比で確認した。供試体はコンクリート打設後2日で脱型し、3日目に補修を行った。補修時には、接着試験同様、プライマーを使用している。補修後は、湿布養生を施して温度20±2℃の室内で補修部分の硬化を待ち、その後は標準水中養生として、コンクリート材齢28日で試験を行った。

3. 実験結果

3.1 コンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度

補修の対象とするコンクリートのフレッシュ性状および材齢28日圧縮強度試験結果を表6に示す。いずれの性状も、設定値内に収まっており、セメントペーストの分離も見受けられなかった。圧縮強度は目標とした150N/mm²を上回る結果であった。

表6 コンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度

W/C (%)	空気量 (%)	スランブフロー (cm)	コンクリート温度 (°C)	28日圧縮強度 (N/mm ²)
14	1.4	75.0×73.2	22	161

3.2 補修材の基本性能確認試験結果

補修材のフレッシュ試験と各硬化物性試験結果の一覧を表7に示す。

a. 補修材のフレッシュ性状

試験はJIS R 5201に拠っており、空気量は単位容積質量より算出している。フローは基本調合であるPOEX0において、200×200mm前後を目標とした。試

験練りの時点で、ポリマーの混入量が増えるほどフローが小さくなり、膨張材を加えたものはさらに小さくなる傾向が見られたが、ポリマーの混入により粘性は増大するものの、練り混ぜ状況は良化する方向であった。また、フレッシュ試験結果も安定しており、ある程度フローが小さくても試験体作成の作業に支障ないと判断されたことから、表4に示すように、混和剤の使用量を決定した。本試験の結果は、試験練りとほぼ同等の結果が得られており、膨張材入りのものは、ポリマーのみのものに比べ混和剤の添加量が多いが、フローは若干小さい結果となっている。

b. 圧縮強度

図2に各補修材の材齢28日圧縮強度試験結果を示す。調合の基となる補修対象コンクリートの圧縮強度に対して、各補修材の強度は、ポリマーを混入していないものでほぼ同等、ポリマー10kg/m³混入し

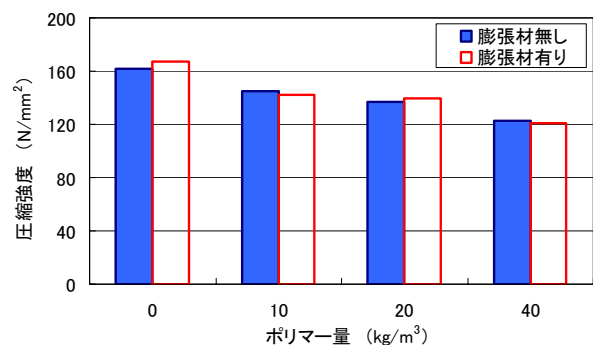


図2 補修材の圧縮強度

表7 補修材のフレッシュ性状と硬化物性試験結果

記号	P (kg/m ³)	EX (kg/m ³)	BT	モルタルフロー(mm)		単位容積質量 (t/m ³)	空気量 (%)	モルタル温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強さ (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	吸水率 (%)	透水量 (g)	長さ変化率 (%)	接着強さ (N/mm ²)	接着耐久性 (N/mm ²)
				落下前	落下後											
P0EX0	0	0	①	179×177	215×214	2.388	3.6	23	162	148	25.8	1.1	1.8	-0.0610	2.8	3.6
				182×178	218×216	2.383	3.8	22								
P1EX0	10	0	①	164×161	199×199	2.348	4.6	22	145	135	24.7	1.2	2.1	-0.0683	2.8	3.9
				160×156	196×195	2.381	3.3	22								
P2EX0	10	0	①	153×150	188×184	2.353	3.8	23	137	127	23.9	1.2	2.8	-0.0717	3.7	4
				148×147	186×184	2.366	3.2	23								
P4EX0	0	0	①	122×119	166×159	2.318	4.1	23	123	115	21.2	1	2.2	-0.0723	4	4.1
				124×116	169×159	2.308	4.3	24								
P0EX2	0	20	①	172×171	212×208	2.396	3.5	23	167	145	27	1.1	2	-0.0520	—	—
				174×172	214×211	2.398	3.4	24								
P1EX2	10	20	①	162×160	195×195	2.383	3.4	24	142	132	24.7	1.1	3.1	-0.0547	—	—
				159×156	194×192	2.373	3.8	24								
P2EX2	20	20	①	143×140	180×174	2.368	3.4	24	139.8	124	24	1.2	2.1	-0.0553	2.9	3.4
				142×142	177×176	2.356	3.8	25								
P4EX2	40	20	①	118×115	152×148	2.328	3.7	25	121.2	120	21.3	1	2.1	-0.0553	3	3.6
				124×124	162×156	2.311	4.4	26								

たもので約90%，20kgで約85%，40kgで約75%と、ポリマー混入量が増えるにつれ、小さくなっている。膨張材を混入したものは、ポリマーのみのものと同等の結果で、膨張材の有無による圧縮強度への著しい影響は認められなかった。

c. 曲げ強さと圧縮強さ

図3に各補修材の材齢28日における曲げ強さと圧縮強さを示す。角柱供試体で行った曲げ強さと圧縮強さは、円柱供試体で行った圧縮強度同様、ポリマー量の増加に伴い、小さくなっており、膨張材の有無による著しい差異も認められなかった。圧縮強さは、試験体形状の影響で、概ね圧縮強度の90%前後の値となっている。曲げ強さは、普通強度レベルのポリマーセメントモルタルの場合、一般的にポリマーの混入量が増えると大きくなる傾向にある [2]。しかし、当実験は高強度であり、単位セメント量に比してポリマー量が少ないこと、ポリマーとの置換により高強度仕様である珪砂の単位量が減っていることなどにより、小さくなっていると考えられる。曲げ強さ自体は、圧縮強さの1/5～1/6程度と一般的なモルタルの性状と変わらないが、圧縮強さ自体が大きいことから、相対的に大きい。なお、両強さとも、平成13年国土交通省告示第1372号第2項（以降、告示1372号）に規定される、ポリマーセメントに求められる強度等の基準値（圧縮強さ20N/mm²以上、曲げ強さ6N/mm²以上）を大きく上回っている。

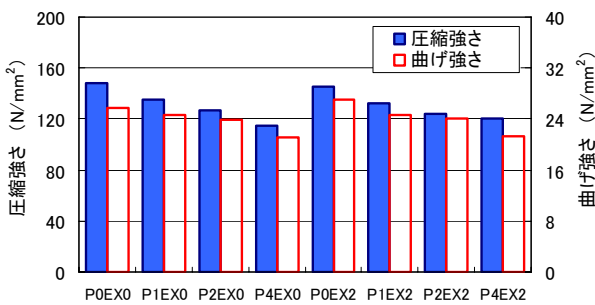


図3 圧縮強さと曲げ強さ

d. 接着強さおよび接着耐久性

図4に各補修材の接着強さと接着耐久性試験結果、写真2に試験体状況を示す。ポリマーのみを混入した補修材の接着強さは、ポリマー量が10kg/m³のP1EX0では、ポリマーを混入していない基本調合であるP0EX0との差異が明確に現れなかったが、20kg/m³、40 kg/m³としたP2EX0、P4EX0では、ポリ

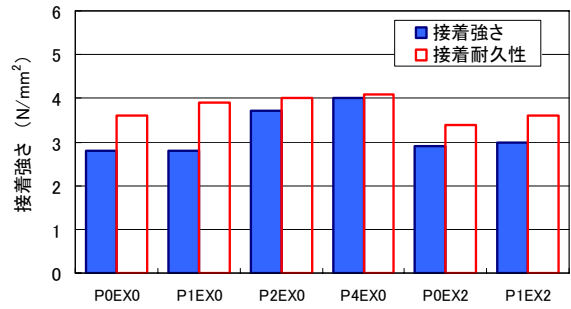


図4 接着強さと接着耐久性



写真2 試験体状況（接着耐久性 P2EX2）

マー量の増加に伴い、接着強さも大きくなっている。膨張材を混入したものは、ポリマー混入の効果は小さく、ポリマー量の増加に伴い、接着強さは大きくなっているものの、接着強さ自体は、基本調合であるP0EX0を若干上回る程度となった。

接着耐久性は、養生期間が規定と異なることから、参考値ではあるが、ポリマーのみ混入したものは、P1EX0も含め、ポリマー量の増加に伴い、接着強さは大きくなっているのに対し、膨張材を混入したものは、基本調合のP0EX0と同等以下の結果となっている。接着耐久性試験の結果は、接着強さ試験の結果を上回っているが、こうした傾向は市販材料の中にもいくつか見られている。その要因については、養生期間も含め、今後、調査が必要である。

今回の試験では、W/C=14%の高強度モルタルで作成した基盤を使用した。試行時に使用した市販のモルタル基盤の試験結果（同調合P=0 kg/m³で2.1N/mm²）と比べ、全般的に接着強さは大きくなっている。破壊形状は、接着強さ、接着耐久性とも試験体5片中、2ないし3片は補修材端部が破壊（面積10～20%程度）、他は補修材と基盤界面の破壊で、基盤自体の破壊は見られなかった。接着強さと接着耐久性試験の結果は、接着耐久性は参考値ではあるが、いずれも告示1372号に規定される基準値（双方とも1N/mm²以上）を上回っている。

e.長さ変化率

図5に長さ変化率の試験結果を示す。一般的にポリマーを混入したものは、収縮が大きくなるとされているが、当実験の結果も、膨張材の有無に関わらず、ポリマーを混入したものは、混入してないものに比べ収縮が大きい結果であった。ポリマー増量の影響は、膨張材の有無で異なり、ポリマーのみ混入したものは、基本調合のP0EX0に対して、10 kg/m³混入したもので1.12倍、20kgで1.18倍、40kgで1.19倍と、ポリマーの増量により、収縮が大きくなるのに対し、膨張材を混入したものは、いずれも、ポリマーを混入していないP0EX2の1.06倍程度と、収縮量に著しい変化は見られなかった。それでも膨張材を加えたものは、すべてP0EX0の90%程度と、ポリマーのみのものより収縮が小さく、膨張材の効果が明確に現れた結果となっている。また、(社)日本建築学会「断面修復用ポリマーセメントモルタルの品質基準(案)」(以下、学会基準)では、長さ変化率を0.15%以下とする規定値が示されているが、今回はそれを十分下回る結果であった。

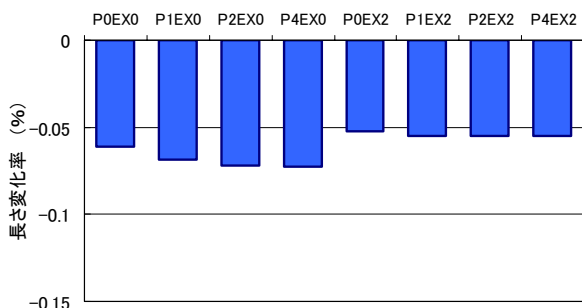


図5 長さ変化率

f.吸水量と透水量

吸水量と透水量については、ポリマーおよび膨張材の有無による傾向を見出すことはできなかったが、いずれも、所定の基準に示される規定値(吸水量20.0g以下:学会基準,透水量15g以下:JIS A 6203「セメント混和用ポリマーディスパーション及び再乳化形粉末樹脂」)を満足するものであった。

3.3 補修効果確認試験

a.補修後コンクリート試験体の圧縮強度

各補修材で補修した欠損試験体のコンクリート圧縮強度試験結果を表8に示す。また、ポリマー量と補修後コンクリート試験体圧縮強度の関係を図6に

表8 補修後コンクリート圧縮強度

記号	P (kg/m ³)	EX (kg/m ³)	補修材 圧縮強度(N/mm ²)	補修後コンクリート 圧縮強度(N/mm ²)
P0EX0	0	0	162	141
P1EX0	10	0	145	151
P2EX0	20	0	137	153
P4EX0	40	0	123	150
P0EX2	0	20	167	157
P1EX2	10	20	142	154
P2EX2	20	20	140	152
P4EX2	40	20	121	155

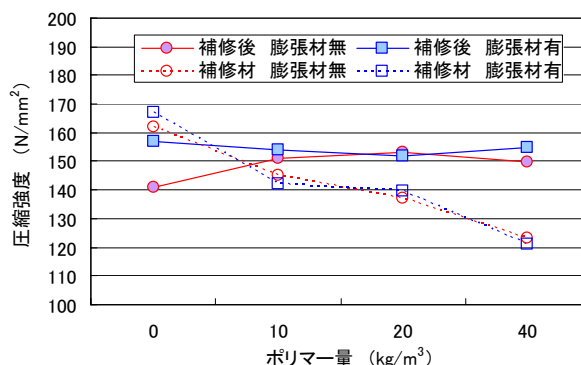


図6 ポリマー量と補修後コンクリート圧縮強度

示す。補修後試験体の圧縮強度は、ポリマー、膨張材をともに混入していない、P0EX0で補修したものが141N/mm²であった。補修材自体の強度は162 N/mm²と大きいにもかかわらず、補修後の圧縮強度は小さかった。他のものは150 N/mm²を超える結果となった。

その1[1]の結果より、補修後コンクリートの圧縮強度には、補修材自体の圧縮強度が大きく影響することが解っているが、ポリマーを混入した場合は、補修材自体の強度が低いにもかかわらず、補修後コンクリートの強度低下は小さく、補修材自体の圧縮強度の低下を、接着強さなど、その他の性状で補っているものと考えられる。そうした意味では、ポリマーを40kg/m³混入したP4EX0は、圧縮強度の低下が大きく、ポリマーの適正な混入量が存在するものと思われる。

膨張材を混入したものは、ポリマーを40kg/m³混入したP4EX2においても、他と同程度の圧縮強度であり、試験体個々のばらつきを考慮すると、補修後の圧縮強度はポリマー混入量の影響を受けないことが判った。接着力や接着耐久性はポリマーのみのものより小さい結果であることから、今回の欠損形状においては、収縮が小さくなった分、拘束力が大きくなっていると考えられる。

b. 補修効果

健全コンクリート試験体に対する、補修後コンクリートの圧縮強度比を図7に示す。圧縮強度比で見た場合、POEX0で補修した試験体が88%と、同じくポリマーや膨張材を混入していない基本調合の補修材で行った、そのI[1]の結果と同等で、補修効果としては若干不十分なものであった。これに対し、ポリマーおよび膨張材を混入した補修材で補修したものは全て95%前後と、試験体個々のばらつきからみて、概ね、健全コンクリートと同程度の結果が得られた。

全体的には、補修材自体の強度が最も大きい、膨張材のみ混入したPOEX2で補修したものが、補修後コンクリートの圧縮強度も最も大きいことから、単位骨材量の差も含め、ポリマーの是非、調合については検討の余地が残されている。また、当実験で設定した断面および体積欠損率は、実大の欠損にすると大きなものであることから、実際のより軽微な補修に要求される補修材の性能については、別途検討せねばならない。しかし、少なくとも補修後の圧縮強度から見た場合、150N/mm²クラスの高強度コンクリートの補修において、コンクリート調合の高強度モルタルを使用する場合は、ポリマーや膨張材を混入したほうが、より補修効果が高いことが確認された。

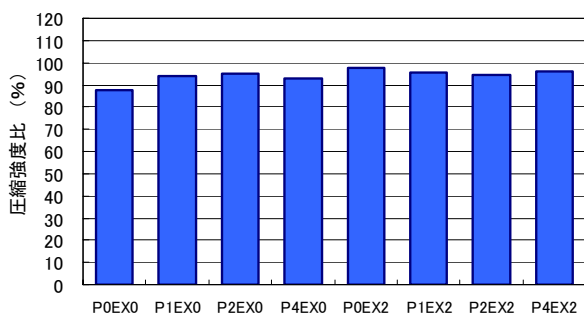


図7 圧縮強度比

4. まとめ

150N/mm²クラスの高強度コンクリートの調合を基にした高強度モルタルに、市販のポリマーや膨張材を混入して作成した補修材について、以下の性能が確認された。

- ・圧縮強度は、ポリマーの混入により小さくなる。
- ・曲げ強さは、単位セメント量に比してポリマー量が少ない、今回のような調合の場合は、ポリマーの混入に伴い、小さくなる。

- ・接着強さ、接着耐久性は、ポリマーの混入により大きくなるが、膨張材と併用した場合、その効果は小さくなる。
- ・長さ変化率は、ポリマーの混入により収縮が大きくなるが、膨張材により、一定のレベルまで抑えることができる。
- ・各性状は一般強度のポリマーセメントモルタルの基準に示される規定値を満足するもので、強度に関するものは、それを大きく上回る。

また、150N/mm²クラスの高強度コンクリートの調合を基にした高強度モルタルに、市販のポリマーや膨張材を混入して作成した補修材を用いて、コンクリートの欠損試験体を補修する実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- ・補修後コンクリートの圧縮強度には、補修材自体の圧縮強度が大きく影響するが、ポリマーおよび膨張材を混入した補修材は、それ自体の圧縮強度の低下を、その他の性状で補うことができる。
- ・ポリマーや膨張材を混入していない、コンクリート調合の高強度モルタルを補修材とした場合、補修後の圧縮強度は10%以上低下するが、高強度モルタルにポリマーおよび膨張材を混入した補修材を用いることにより、95%程度の圧縮強度を確保できる。

参考文献

[1] 安部弘康, 桜井徹, 石川伸介, 立山創一: Fc=100N/mm²を超える高強度コンクリートの補修方法に関する実験的研究, 安藤建設技術研究所報, Vol.15, pp5-9, 2009

[2] 濱崎ほか: 高温を受けたポリマーセメントモルタルの力学性状, コンクリート工学年論文集, Vol.31, No.1, pp.1927-1932, 2009.7