

各3体ずつ作製した。また SHCC の材料特性評価のため、ダンベル型供試体を1配合につき5体作製した。

4.2 曲げ載荷試験

曲げ載荷にて、供試体に期待するような複数微細ひび割れが分散して導入されるかを確認するために、載荷スパン 400mm の一点集中載荷による曲げ載荷試験を実施した。スパン中央の変位が 1mm, 3mm, 5mm に達した時点で載荷を止め、50倍のマイクロスコップを用いて、ひび割れ幅やひび割れ本数を計測した。

4.3 塩分浸透性試験の概要

供試体を 28日 20℃で湿布養生した後に載荷スパン 400mm の一点集中載荷で、曲げ載荷試験の結果（結果は次章参照）を考慮して、スパン中央のたわみが 1mm, あるいは 3mm に達するまで載荷し、曲げひび割れを導入した。その後、除荷した供試体を I 型鋼に設置し、再び載荷スパン 400mm で設定したたわみ（1mm, あるいは 3mm）が生じるまでボルトを締め上げ固定した。なお, NM と PCM はすべてたわみ 1mm とした。I 型鋼に固定した後、ひび割れ幅とひび割れ本数を測定した。

写真-1 に示すように、上部に透明の塩ビ板とシリコンで貯水槽を設置し、その後、濃度 3%の NaCl 溶液を貯水槽に溜めることと、溶液を除いて供試体を乾燥させることを繰り返した。溶液の貯留を 3日間、乾燥を 4日間で1サイクルとし、2,4ヵ月間この乾湿繰返しサイクルを続けた。

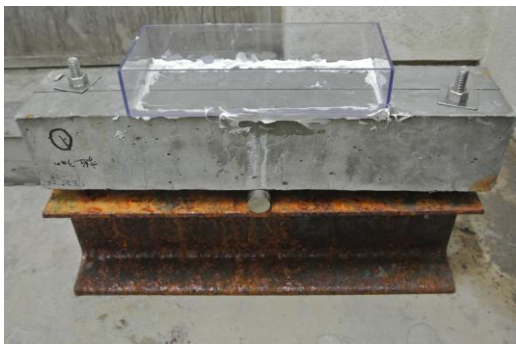


写真-1 硝酸銀噴霧試験

規定の乾湿繰返し期間終了後、供試体を I 型鋼から取り外し、鉄筋に平行な方向に供試体を割裂し、割裂面に硝酸銀水溶液を噴霧し、塩化物イオンの浸透深さを測定した。その後供試体から鉄筋をはつり出した後、OHP フィルムに鉄筋の腐食箇所をトレースし、プラニメーターで腐食面積を算出した。

5. 結果と考察

5.1 曲げ載荷試験結果

曲げ載荷試験の結果を図-2 に示す。曲げ載荷時にも複数微細ひび割れが発生し、終局時には曲げ破壊に至った。S 配合に比べ LP 配合は石灰石粉で置

換しているため、荷重が小さくなっているがたわみは同程度の結果となった。ひび割れ測定結果を表-2 に示す。曲げ載荷変位 1mm, 3mm ではひび割れが分散しており、微細ひび割れが観測されたが、変位 5mm 時の最大ひび割れ幅は 1.5mm を超え、ひび割れの局所化が起きてしまったため、塩分浸透性試験で供試体に与える曲げ載荷変位は 1mm と 3mm とすることとする。

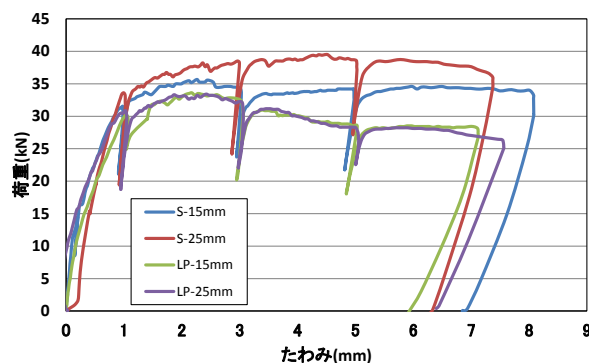


図-2 曲げ載荷結果

表-2 曲げひび割れ幅測定結果

供試体	変位 (mm)	ひび割れ本数(本)	平均ひび割れ幅(mm)	最大ひび割れ幅(mm)
S-15	1	12	0.032	0.041
	3	40	0.036	0.082
	5	55	0.060	0.366
S-25	1	33	0.037	0.082
	3	43	0.068	0.823
	5	56	0.071	1.478
LP-15	1	40	0.037	0.074
	3	65	0.042	0.103
	5	65	0.069	1.695
LP-25	1	28	0.037	0.086
	3	48	0.055	0.143
	5	75	0.069	0.757

5.2 塩分浸透試験結果

ひび割れ幅の測定結果を表-3 に示す。曲げ載荷変位 1mm と比べ、変位 3mm ではひび割れ本数が増加した。また最大ひび割れ幅が 0.1~0.4mm に達する供試体もあった。特にかぶりが 25mm の供試体の方が、大きなひび割れが発生する傾向にある。また同じかぶりの供試体では、S 配合の方が LP 配合より合計ひび割れ幅が大きくなった。これは、平均のひび割れ幅には配合による差がさほどないことから、主にひび割れ本数が多いことに起因する、その理由は定かではないが、引張強度の違い、あるいは繊維とマトリクス間、SHCC と鉄筋間の付着強度の影響と考えられる。

表-3 ひび割れ幅測定結果

配合名	変位 (mm)	ひび割れ本数(本)	平均ひび割れ幅(mm)	最大ひび割れ幅(mm)	合計ひび割れ幅(mm)
S-15	1	16~28	0.020~ 0.024	0.031~ 0.051	0.317~ 0.667
	3	41~45	0.024~ 0.031	0.046~ 0.082	1.064~ 1.356
S-25	1	8~15	0.023~ 0.036	0.029~ 0.066	0.275~ 0.344
	3	25~31	0.029~ 0.045	0.051~ 0.485	0.722~ 1.215
LP-15	1	15~18	0.023~ 0.024	0.040~ 0.047	0.364~ 0.405
	3	25~35	0.026~ 0.038	0.087~ 0.281	0.823~ 0.947
LP-25	1	11~19	0.020~ 0.025	0.036~ 0.037	0.279~ 0.385
	3	22~24	0.025~ 0.041	0.049~ 0.304	0.539~ 0.908
PCM	1	1	0.185~ 0.258	0.185~ 0.259	0.185~ 0.260
NM	1	1	0.327~ 0.474	0.327~ 0.475	0.327~ 0.476

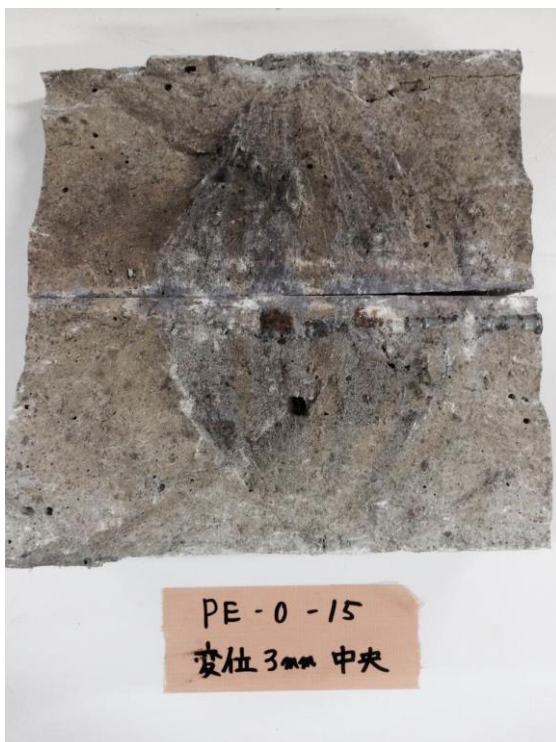
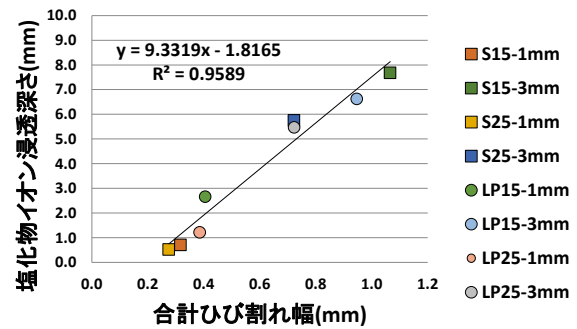


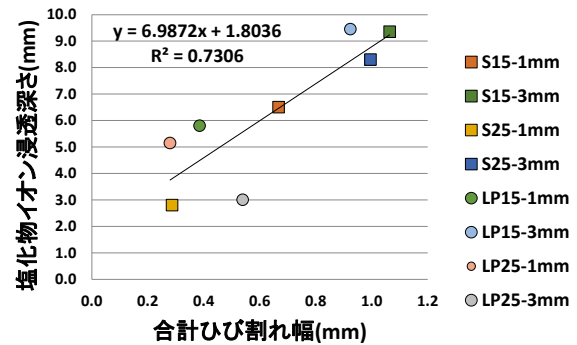
写真-2 硝酸銀噴霧試験

写真-2 に硝酸銀噴霧試験の様子を示す。写真-2 は平均ひび割れが 0.03mm 程度で、最大ひび割れ幅も 0.1mm 以下の理想的な微細ひび割れを生じた供試体であったが、写真のようにひび割れを通じて塩分が浸透していることがわかる。このように塩分は微細なひび割れであってもひび割れを通じて浸透する。

図-3 に塩化物イオンの浸透深さと合計ひび割れ幅の関係を示す。図からわかるように特に浸漬期間が短いときに両者には高い相関が得られた。既往の研究¹⁾と同様に、SHCC 供試体に塩化物イオンが浸透する場合、合計ひび割れ幅が重要である。浸漬期間 2 ヶ月、4 ヶ月ともに、曲げ載荷変位



浸漬期間 2 ヶ月



浸漬期間 4 ヶ月

図-3 塩化物イオン浸透深さと合計ひび割れ幅の関係

3mm のものは合計ひび割れ幅が大きくなり、それに伴い塩化物イオンの浸透深さも大きい。中でも S15-3mm と LP15-3mm にはひび割れが多く発生するため、塩化物イオン浸透深さが大きい。このことからかぶりが小さいもので、曲げ載荷変位 3mm のような大きな荷重を受けると、合計ひび割れ幅が大きくなり、塩化物イオンが浸透しやすくなるのではないかと考えられる。

ひび割れ内部からマトリクス内への塩化物イオン浸透深さを図-4 に示す。SHCC において、ひび割れを通じて侵入した塩化物イオンは、ひび割れの付近のみに浸透するが、NM や PCM はひび割れからさらに内部に広がっている。NM はひび割れから侵入した塩化物イオンがさらに内部に浸透し、鉄筋全体に浸透する。一方 SHCC はひび割れ箇所付近のみに塩化物イオンが浸透していることがわかる。配合やたわみの大きさが与える影響は、ほとんど認められなかった。

変位別の配合ごとの腐食面積率を図-5 に示す。浸漬期間 2 ヶ月において腐食面積は NM が最も大きい。LP-15 の変位 3mm もほぼ同等の腐食面積である。これは塩化物イオン浸透深さと同様に、最大ひび割れ幅が 0.3mm と大きいため、鉄筋位置まで大きなひび割れが通じており、塩化物イオンや酸素、水分が多く供給されたためであると考え

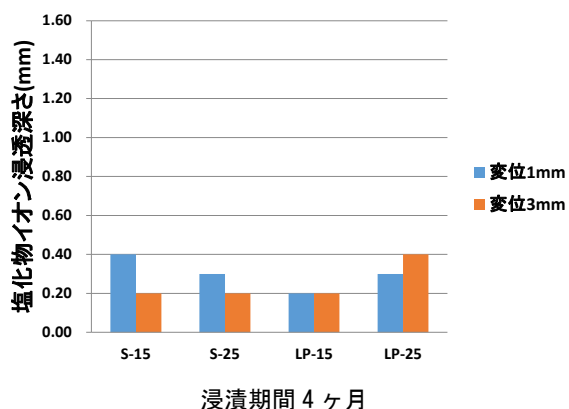
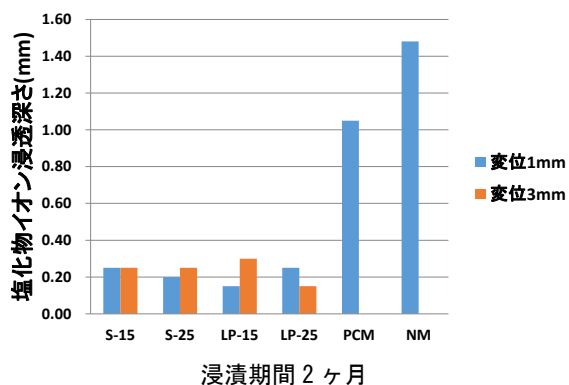


図-4 ひび割れ内部からマトリクス内への塩化物イオン浸透深さ

られる。S 配合、LP 配合のかぶり 25mm は 15mm に比べて腐食面積率が小さく、変位 1mm と 3mm との腐食面積率の差が小さい。これは前節の結果と同様に曲げ載荷変位 3mm の場合でも合計ひび割れ幅が小さく、塩化物イオンの浸透が困難であったため、腐食面積率も小さくなったことが考えられる。

6. まとめ

- 1) ひび割れを通じて浸透した塩化物イオンが内部にどれだけ浸透しているかを硝酸銀噴霧試験で計測した結果、通常の SHCC の配合と石灰石粉で置換した配合とでは大きな違いは見られなかったが、W/C の大きな普通モルタル (NM) や、ポリマーセメントモルタル (PCM) は SHCC と比べて、内部へ塩化物イオンが浸透していることが明らかになった。
- 2) 鉄筋の腐食面積はかぶり 15mm よりかぶり 25mm の方が小さい。これはかぶり 25mm は大きな変位を与えた場合でも合計ひび割れ幅が小さく、塩分浸透量が小さいためであると考えられる。
- 3) 塩分浸透性や、鉄筋防食性能の試験結果より、セメントの一部を石灰石粉で置換した配合 (LP 配合) は通常の配合と比べても大きな違いは見られなかった。逆に、同一変位を与えた

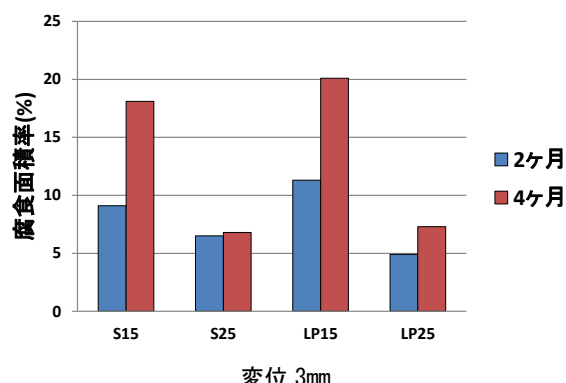
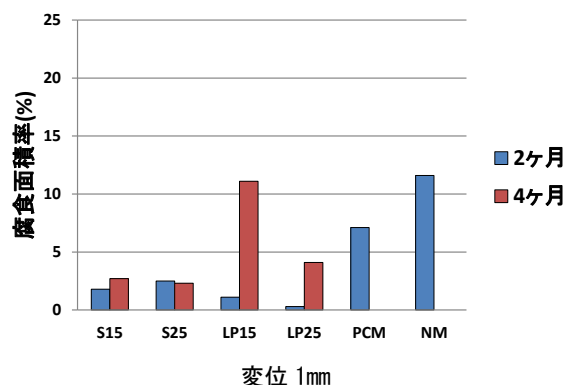


図-5 各配合の腐食面積率

場合、LP 配合の方がひび割れ本数は少なくなり、結果として合計ひび割れ幅が小さくなるため、腐食面積が小さい。同一変位において LP 配合のひび割れ本数が小さくなる原因は本研究では明らかにできなかったため、今後の課題である。

本研究でひび割れ導入のために与えたひずみは鉄筋降伏ひずみを上回る大きなものである。したがって、実際の構造物の外力や収縮によって生じるよりも多くのひび割れが生じ、さらに多量の塩分の混入された非常に過酷な条件で検討を行っていることになる。

参考文献

- 1) 小島 雄太, DUNG LE ANH, 六郷 恵哲, 小林 孝一: ひび割れを有する SHCC の塩分侵入抵抗性と鉄筋防食性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, P922-P927, 2014