VI－17　高炉スラグ系微粒子の注入と硬化性能に関する研究

太平工業㈱　正　荒　精一
㈶鉄道総合技術研究所　正　小林　明夫
新日本製鐵㈱　正　沼田　晋一
新日本製鐵㈱　長尾　由一

１．はじめに

従来セメント系注入材料による注入工法では、一般にひびわれ幅２㎜以上が対象とされ、それ以下のひびわれ幅に対しては、粒径上の制約等で困難であるとされていた。しかし、素材を超微粉砕した高炉スラグ系微粒子材（以下Ｂ材という）は、エポキシ樹脂とほぼ同等の注入充填性能があることを、モデル実験を通して確認でき、注入材料として適応できることは既に報告した。(1)

今回の報告は、このＢ材を使用して実際の構造物のひびわれ補修に適用し、この材料の注入性能と硬化性状について、試験を行ったものに関するものである。

２．補修構造物の概要

構造物は昭和47年に竣工し、補修時に14年経過した無筋コンクリート構造物である。なお、建設時のコンクリートの配合は不明である。表－２に構造物コンクリートのコア試験の結果を示す。

３．試験概要

3-1．補修方法

全てのひびわれに対して、Ｂ材を注入圧力３Kgf/㎠以下、注入間隔30cm程度で充填した。注入後、浸透性塗布剤(0.4ℓ／㎡）を塗布した。

3-2．試験方法

注入後３日目に、φ10cm×50cmのコアを３本採取し、各々の条件に従って試験を行った。また比較のため、注入前にφ10cm×150cmのコアを２本採取し、同様の試験も行った。コアの主な試験条件、試験方法を表－３、表－４に示す。

４．試験結果と考察

4-1．採取コアによる注入状況の観察

注入後採取したNO.1、2、3 コア（ℓ＝50cm）による注入状況の観察は、各コアの側面と各切断面とで行った。その結果、何れのコアにおいても、注入材が骨材のひびわれとその周辺の微細なひびわれまで、密に充填されていることが確認できた。

表－１　Ｂ材の品質、性能

試験項目			数値	試験方法
流動性（秒）			12	土木学会規準Ｆ－１
単位体積重量（kg／１）			1.7	
強度（kgf／㎠）	材令１日	曲げ	19	JIS R 5201
		圧縮	52	
	材令３日	曲げ	36	
		圧縮	170	
	材令７日	曲げ	49	
		圧縮	289	
	材令28日	曲げ	65	
		圧縮	402	
付着強度（kgf／㎠）			48.8	JIS A 6024
ブリージング率（％）			0.8	土木学会規準Ｆ－２
注入性能			全量通過	400mℓが0.1㎜網通過
可使時間（分）			60	土木学会規準Ｆ－１

（備）水結合材比は６０％である。

表－２　コア試験結果

項目	数値
コアの圧縮強度	212kgf/㎠
動弾性係数	1.42×10^5 kgf/㎠
静弾性係数	1.13×10^5 kgf/㎠
中性化深さ	20.95㎜
塩化物含有量	0.74kg／㎥
コンクリートの配合推定	C=394kg／㎥，G+S=1300kg／㎥ W=154kg／㎥，W/C=39.2%
粗骨材岩石構成	砂岩43%，チャート24% 凝灰岩12%，溶結凝灰岩11%
コンクリート表面のひびわれ	0.1～5.0㎜，320m／80㎡

表－３　各コアの試験条件

条件＼コア番号	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5
注入条件	注入	注入	注入	無注入	無注入
表面塗布剤	無塗布	無塗布	塗布	無塗布	無塗布
養生条件	40℃RH100%	屋外暴露	屋外暴露	40℃RH100%	40℃RH100%

表－４　各コアの試験方法

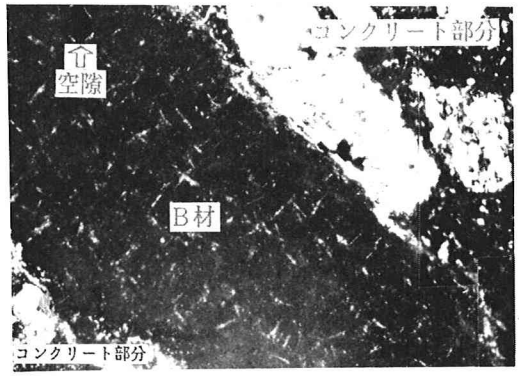
項目	試験方法
長さ変化試験	JIS A 1129　40℃RH100%
超音波試験	ASTM C 597に準じ、パンジットにて測定
界面観察	岩石顕微鏡，SEM

（備）測定間隔は0W，1W，2W，3W，4W，6W，8W，12W，16W，20W，24Wとした。

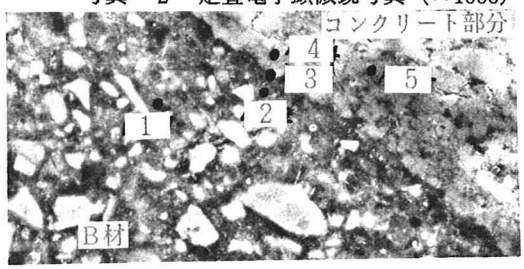
4-2. 岩石顕微鏡による注入状況及びひびわれ界面観察

注入界面の状態を、写真－１に示す。この写真は、ひびわれ幅約 0.4㎜部分にＢ材が充塡されている所で、太い斜めの部分が注入材の硬化体である。この硬化体中には、白く針状のエトリンガイトと思われる水和物と、黒く丸い空隙部分が確認できる。また、コンクリートとの界面においては、水和物ができているようであり、さらにこの部分を走査電子顕微鏡により分析すると、写真－２、表－５に示すような結果となった。このことから、Ｂ材とコンクリートが一体化しているようであり、Ｂ材と、ポルトランドセメント硬化体の中間的なものになっていることがわかる。これは、Ｂ材の石灰分がコンクリート部分に、コンクリートのアルカリ分が、Ｂ材の方に移動しているような界面構成になっているためと考えられる。

写真－１　岩石顕微鏡写真（×100）



写真－２　走査電子顕微鏡写真（×1000）



4-3. 長さ変化及び超音波伝播速度

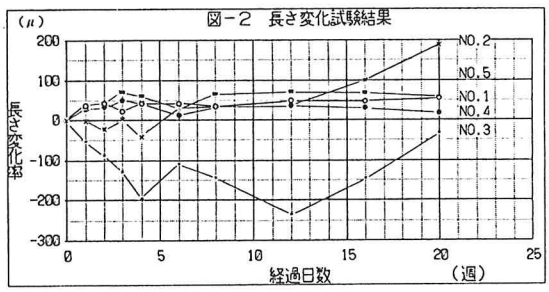
図－２に示すように、促進養生をしたNO. 1,4,5のコアにおいては、注入前後の伸び量の差がみられず、ほぼ同じ値を示した。一方、超音波による伝播速度に関しても、図－３に示すように著しい差はみられなかった。このことは、コアコンクリートの膨張性が、極めて小さかったことを示している。

次に、屋外暴露したコアでは、表面塗布をしたNO. ３のコアは、材令12週まで膨張傾向を示さないが、その後は未塗布のNO. ２のコアと、同様な長さ変化の傾向を示した。

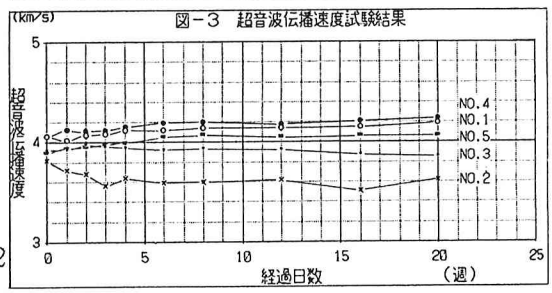
表－５　ＳＥＭによる成分分析結果

測定点　　成分	SiO_2	CaO	Na_2O	K_2O
1（Ｂ材部分）	32.20	47.30	1.82	0.44
2（Ｂ材部分）	31.30	51.74	検出せず	0.16
3（界面部分）	42.87	41.06	2.22	0.31
4（コンクリート部分）	63.06	6.48	11.15	検出せず
5（コンクリート部分）	62.49	4.43	12.89	0.28

図－２　長さ変化試験結果



図－３　超音波伝播速度試験結果



5．まとめ

高炉スラグ系微粒子材は、実構造物においても２㎜以下のひびわれ注入に用いることができ、しかも、注入性が良いために奥行きのあるひびわれに対しても、十分低圧で充塡が可能であった。また、注入前後のコアによる長さ変化、超音波伝播速度の明確な差は認められなかったが、注入材とコンクリート界面で注入材の水和物が、下地コンクリートからの溶解性アルカリより形成されていることが、岩石顕微鏡観察から確認できた。またその界面は、剥離状態ではなく、コンクリート面と注入材が、水和物によりある程度一体化している傾向もみられた。

参考文献 (1) 土木学会第41回年次講演会概要集Ｖ-92