

報告 キルン基礎の劣化補強に対する高流動コンクリートの適用

醍醐 潤*1・樋口 正典*2・竹内 光*3・澤村 秀治*4

要旨:カルサイニングコークス製造設備の内、RC 製のキルン基礎の劣化補強工事を行った。このキルン基礎は築後 25 年を経過し、キルンからの輻射熱によりコンクリートの中性化が促進され、鉄筋の腐食が起こり構造的に問題となった。そこで、H型鋼で仮補強し、さらにそれを構造用鉄筋として使用し、補強工事を行った。そこで、過密な配筋状態となることから、自己充填型の高流動コンクリートを採用した。また、密閉された空間へのコンクリート打設となるため、電池式充填センサーを採用し、充填管理を行った。
 キーワード:補強工事、中性化、充填センサー、粉体系高流動コンクリート

1 はじめに

カルサイニングコークスの製造設備の中の RC 製キルン基礎において、中性化による劣化が発生し、補強工事が必要となった。そこで、過密配筋となることから、自己充填型の高流動コンクリートが採用された。本報告は、高流動コンクリートの配合試験から施工までの一連の結果について述べたものである。

2 工事の概要

RC 製キルン基礎の補強断面図を図-1 に示す。構造物は、キルンからの輻射熱により、コンクリートの中性化が促進された。そのため、鉄筋の腐食が進行し、構造性能が損なわれていることが、事前調査の結果分かった。構造物の劣化状況を、写真-1 に示す。写真-1 は、図-1 に示すクーラー近傍の柱部分を撮影したものであり、鉄筋の腐食により、鉄筋に沿ったひび割れが生じているのが分かる。そこで、図-1 に示すように、仮補強として、H 型鋼により構造物内側に仮受けを施し、定期修理期間中に本復旧工事を行うこと

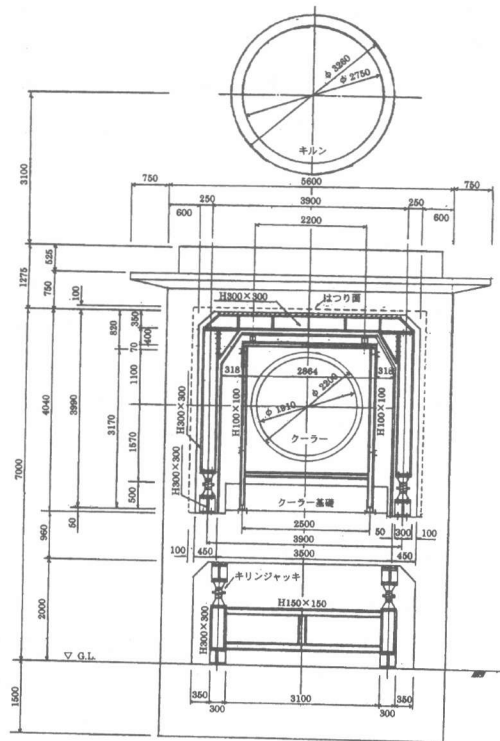


図-1 キルン基礎の補強断面図

- *1 三井建設(株)技術本部技術研究所研究員(正会員)
- *2 三井建設(株)技術本部技術研究所主任研究員(正会員)
- *3 三井建設(株)技術本部技術研究所主席研究員、工博(正会員)
- *4 三井建設(株)技術本部技術研究所主任研究員、工修(正会員)

となった。H 型鋼による仮補強の状況を写真-2 に示す。この仮受けで使用した H 型鋼を構造用鉄筋の代替として使用することとしたため、H 型鋼という障害物がある中で、コンクリートの打込みを行うこととなった。さらに、密閉された空間へのコンクリートの打込みとなる。そのため、棒状パイプレータが使えないことから、自己充填型の高流動コンクリートが採用された。

施工は、新旧コンクリートが一体化するように、旧コンクリートをスラブおよび側壁共に約 10cm 程度はつった。その際、構造的な安定を図るため、4 本の H 型鋼のフレームを 1 本ずつ盛替えながら作業を進めた。その後、配力筋、中間梁、スタッドジベルの取付けを行った後、仮補強工の H 型鋼フレームを巻き込む形で型枠を設置し、高流動コンクリートをピストン式ポンプ車にて打設した。また、コンクリートの硬化後、キルンからの輻射熱を緩和するため、断熱材をコンクリート内面に敷設し、補強工事を完了した。

3 配合試験

使用した材料は、表-1 の通りである。施工時、内側型枠と H 型鋼の最小間隙は 5cm と狭いため、配合計画では高い充填性能が得られるように、使用材料の選定と配合の計画を行った。そこで、粉体系の自己充填型高流動コンクリートを採用した。また、施工状況を考慮し、コンクリートの目標仕様を表-2 のように定めた。セメントは粒度分布が広く、スランプフロー等の品質変動が少ない三成分系低発熱セメントを採用した。細骨材および粗骨材は、現地プラントのものを使用した。混和剤は現地プラントのもの(SP1 と表記)以外に、もう 1 種類(同 SP2)用意し、配合試験を行った。

室内配合試験において練り混ぜたコンクリートの配合を、表-3 に示す。コンクリート

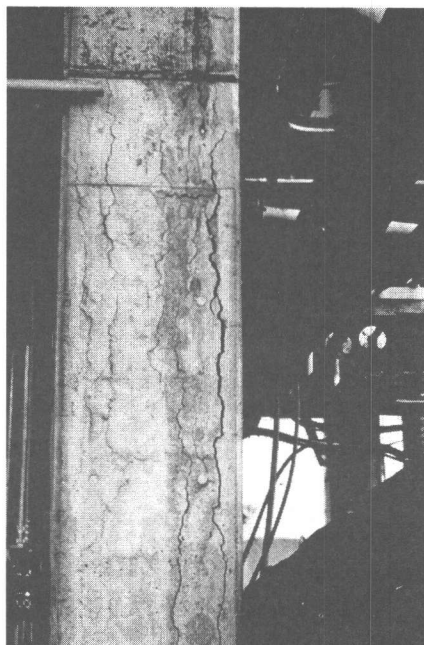


写真-1 構造物の劣化状況

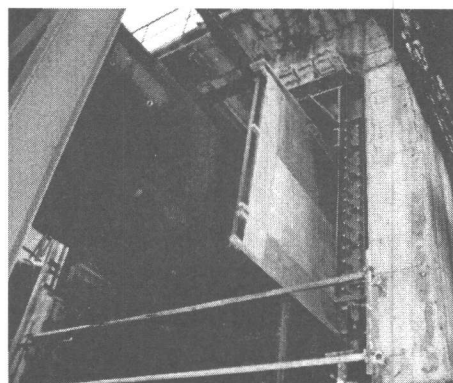


写真-2 構造物の仮補強状況

表-1 使用材料

分類	種類	比重	産地、主成分、物性等
セメント	三成分系	2.76	三成分系低発熱セメント (中庸熱ポルトランドセメント:高炉スラグ:フライアッシュ=2:1:1)
細骨材	山砂	2.52	熊本県玉名市三ツ川産 FM2.66, 実積率68.1%
粗骨材	碎石	3.03	熊本県玉名郡三加和町産 FM6.40, 実積率62.2%
混和剤	高性能AE減水剤	-	ポリカルボン酸系 SP1
		-	ポリカルボン酸エーテル系 SP2

表-2 自己充填型コンクリートの目標仕様

評価特性	目標仕様
設計強度	21N/mm ² 以上
スランプフロー	65±5cm

の練混ぜは、容量 100l のパン型ミキサを用い、1 バッチあたりの練混ぜ量は 60l とした。投入順序は、セメントおよび骨材の投入後 30 秒の空練りを行った後、水および混和剤を添加し、180 秒の本練りを行った。W/C は過去の実績^{2),3),4)}から 30~35%程度とし、それぞれ品質試験を行った。室内試験における配合試験の結果を、表-4 に示す。その結果、SP1 を用いた配合 4 および SP2 を用いた配合 8 のスランプフローの経時変化を、図-2 に示す。混和剤の添加量の差で、フローロスに差があるものの、混和剤の違いによって、スランプフローの経時変化に違いが生じた。実施工における配合を決定する場合、フレッシュ状態の品質の安定性、すなわち、流動性の保持は重要であると考えた。したがって、実施工では予備試験で最も優れた性能を示した配合 8 を採用することとした。その基本配合を、表-5 に示す。

4 実機試験

表-5 に示す基本配合は、模擬充填箱への充填試験にてその性能を確認した。写真-3 に模擬充填箱への充填状況を示す。次に、現地のコンクリートプラントにて同等の品質を確認するために、実機試験を行った。実機プラントは、容量 1750l のパン型ミキサであったが、1 バッチあたりの練混ぜ量を 1000l とし、投入順序や練混ぜ時間は、室内試験と同様にした。実機試験の結果得られた現場配合を、表-6 に示す。実機試験は、表-5 に示す基本配合から始め、表-7 に示すような配合の調整を行った。

表-3 予備練り段階におけるコンクリートの配合

配合 No.	W/C (%)	単用量(kg/m ³)				高性能AE減水剤 C× (%)		消泡剤 SP*%
		W	C	S	G			
1	32.5	180	555	705	903	SP1	1.90	
2						SP1	2.00	20.0
3	33.0	182	551			SP1	2.00	
4						SP1	2.10	5.0
5						SP2	1.90	
6	32.5	180	555			SP2	2.50	
7						SP2	2.70	
8						SP2	2.90	

表-4 配合試験の結果

配合 No.	air (%)	V _e 漏斗 (sec)	スランプ ^o フロー (cm)				
			0min	15min	30min	60min	90min
1	6.9	10.0	63*63	58*59	-	-	-
2	1.4	16.7	64*65	66*64	65*64	59*59	60*61
3	5.2	15.2	66*63	-	62*61	60*58	57*59
4	2.9	15.6	63*65	-	63*60	60*59	56*60
5	-	-	40*40	45*46	45*46	39*40	37*37
6	1.7	9.9	53*53	61*62	61*60	55*58	55*56
7	-	10.9	56*55	60*59	61*63	61*61	59*60
8	-	-	60*60	66*65	66*66	67*65	64*65

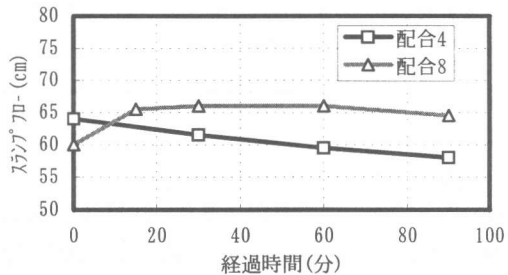


図-2 スランプフローの経時変化

表-5 基本配合(室内試験)

配合条件					単用量(kg/m ³)				
Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	air (%)	SP C*(%)	W	C	S	G	SP
20	33.0	48.4	2.0	2.95	184	559	720	922	16.5

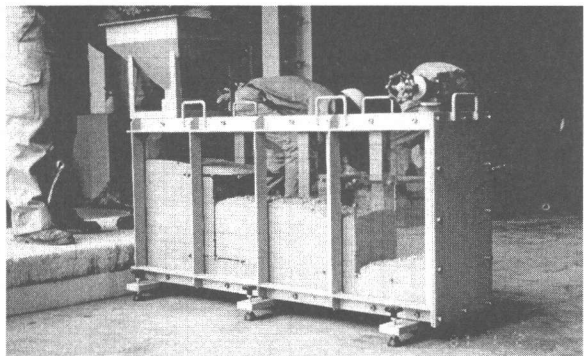


写真-3 模擬試験箱による充填試験状況

室内試験と比べて大きく配合が変わった原因としては、前日の降雨により粗骨材表面の微粒分が流されたため、材料の分離抵抗性が低減したこ

表-6 現場配合

配合条件					単位量(kg/m ³)				
Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	air (%)	SP C*(%)	W	C	S	G	SP
20	31.5	48.4	2.0	1.60	180	571	720	922	9.1

とによると考えている。そのため、同一のスランプフローを得るための単位水量および減水剤量が低減した。しかし、現場プラントにおいて、粗骨材ストックヤードに常時搬入される粗骨材から判断する限り、室内試験時よりも微粒分が少なく、

表-7 実機試験結果

実機試験配合において細骨材の表面水率を管理することで対応可能と判断し、現場配合を表-6に示す配合とした。

配合No.	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				表面水率 (%)	SP C*(%)	温度 (°C)	V _{6.3} 漏斗流下時間 (sec)	U型 Box (cm)	スランプ ^o フロー-70 (cm)	50cm フロー-タイム (sec)	備考
		W	C	S	G								
1	33.0	184	559	720	922	5.0	2.95						材料分離
2	33.0	184	559	720	922	5.0	2.60						材料分離
3	31.5	180	571	720	922	2.5	2.20						材料分離
4	31.5	180	571	720	922	6.0	2.20			>70			材料分離
5	31.5	180	571	720	922	6.0	1.80	27.0		65*61	3.9		
6	31.5	180	571	720	922	6.0	1.70						材料分離
7	31.5	180	571	720	922	7.0	1.60			49*51	4.4		
7-1								38.9, 76.0		60*61	2.8		30分後
8	31.5	180	571	720	922	5.5	1.60						材料分離
9	31.5	180	571	720	922	6.5	1.60	26.8	19.1, 13.6	12.0	61*62	3.7	決定配合
10	31.5	180	571	720	922	6.5	1.60	26.2			55*51	4.4	
10-1											59*60	2.8	圧送後
10-2											55*54	5.1	30分後
10-3											49*50	15.6	60分後

5 実施工時の品質管理

施工当日は朝方まで降雨があり、状況は実機試験当日と同じであった。フレッシュ状態の品質試験結果を、表-8に示す。当日は表-6に示す現場配合から始め、混和剤量が若干増加したものの、安定した状態で出荷できた。コンクリートの品質管理は、出荷時と荷卸し時に、スランプフロー試験にて行った。出荷から荷卸しまでの所要時間は最大でも25分と短かったが、フローロス

は最大で5cm程度であった。しかし、混和剤量が増加した3車目以降では、逆にスランプフローは伸びる方向となり、変動の少ないコンクリートが打ち込まれた。

1,2車目のフレッシュ状態の品質は、表-2に掲げた目標仕様を満足していないものの、最初の打設が側壁部であり、コンクリートがある程

表-8 品質管理試験結果

バッチNo.	車数No.	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				表面水率 (%)	SP C*(%)	出荷時刻 荷卸時刻	温度 (°C)	スランプ ^o フロー-70 (cm)	50cm フロー-タイム (sec)
			W	C	S	G						
1	1	31.5	180	571	720	922	9.0	1.6	9:40	27.5	54*54	6.7
2		31.5	180	571	720	922	7.0	1.6				
3		31.5	180	571	720	922	7.0	1.6				
4	2	31.5	180	571	720	922	6.5	1.7	10:50	27.0	57*57	5.3
5		31.5	180	571	720	922	6.5	1.7				
6		31.5	180	571	720	922	6.5	1.7				
7	3	31.5	180	571	720	922	6.5	1.8	11:30	27.2	59*62	6.2
8		31.5	180	571	720	922	6.5	1.8				
9		31.5	180	571	720	922	6.5	1.8				
10	4	31.5	180	571	720	922	6.5	1.8	12:05	27.7	61*61	4.8
11		31.5	180	571	720	922	6.5	1.8				
12		31.5	180	571	720	922	6.5	1.8				
13	5	31.5	180	571	720	922	6.5	1.8	12:35	27.8	64*62	3.4
14		31.5	180	571	720	922	6.5	1.8				
15		31.5	180	571	720	922	7.0	1.8				
16	6	31.5	180	571	720	922	6.5	1.8	13:00	28.2	59*59	6.2
17		31.5	180	571	720	922	6.5	1.8				
18		31.5	180	571	720	922	7.0	1.8				

度の水平勾配が保てるならば充填が可能であると判断し、そのまま打設した。しかし、充填性能の確保が必要となるそれ以降のコンクリートのフレッシュ状態の品質は、表-2に掲げた目標仕様を満足するものであった。

6 充填管理結果

現場でのコンクリートの打込みは、壁部から行った。しかし、上スラブにおけるコンクリートの打込みは、未充填による欠陥が生じないように、妻型枠側の天端両端に空気孔を設け、片押しによる打設を行った。また、内部でコンクリートの勾配が急になり閉塞を生じないように、打込み速度を $8\text{m}^3/\text{h}$ 以下にするよう配慮した。写真-4にコンクリートの打込み状況を示す。

現場では、フレッシュ状態の品質管理でコンクリートの性状を確認するほかに、充填が最も難しいと考えられているスラブ天端に充填センサーを設置し、充填管理を行った。図-3に充填センサーの模式図を示す。充填センサーはプラスチック板に銅板と亜鉛板を貼り付けたものであり、この間に電解液が満たされると電池の原理で電圧が発生する。室内試験では電解液としてモルタルを使用し、約 500mV 程度の出力が得られた。図-4に、施工時における充填センサーの発生電圧の経時変化を示す。電圧は、コンクリートの接触と同時に $200\sim 400\text{mV}$ 程度発生し、その後、徐々に発生電圧は大きくなり、やがて安定するという傾向となった。発生電圧や安定までの時間はまちまちであるが、これらは、電解液の接触状況の違い、あるいは、個々の品質に変動があったものと考えている。しかし、感知能力が優れているため、充填の判断がし易く、信頼性も高かった。また、図-5は、充填計測の結果から得られた高流動コンクリートの上スラブでの高流動コンクリートの流れを追跡したものである。当構造物のスラブ下面では、H型鋼が障害となるため、図中の矢印に示すように、障害物のないところを流れるように充填していく。端部はH型鋼の影響はなく、最初ポンプ圧の影響から縦に長く伸び、その後は時間に対しほぼ等間隔で側方移動したことが分かる。最後は図中の左上にある4点のセンサー（No.12,15,16,19）がほぼ同時にコンクリートを感知し、充填完了を確認した。

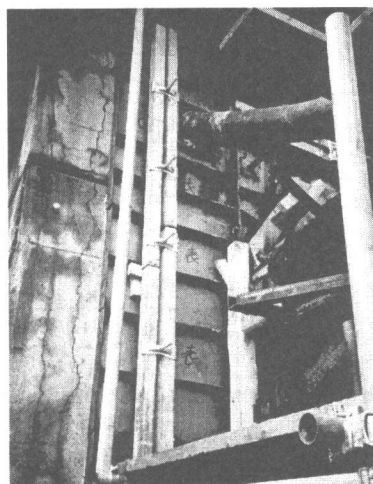


写真-4 コンクリートの打込み状況

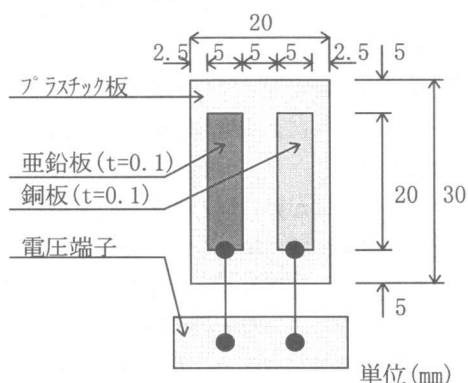


図-3 充填センサーの模式図

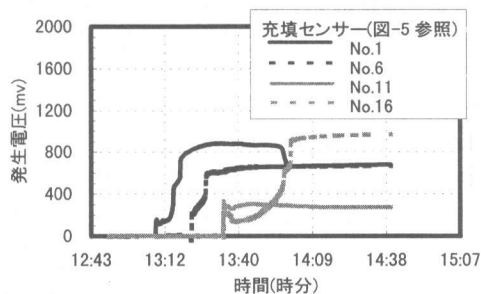


図-4 充填センサー発生電圧の経時変化

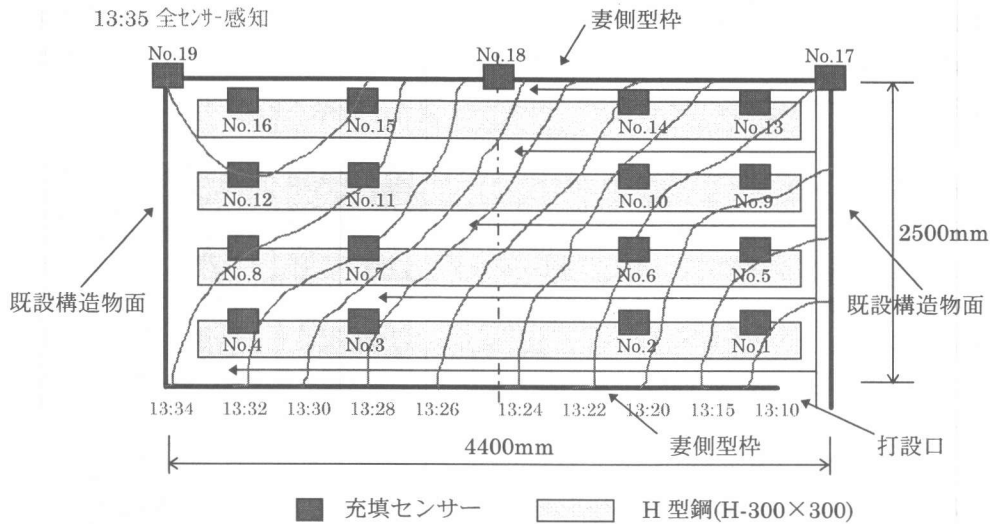


図-5 高流動コンクリートの充填状況に対する時間的経過

7 まとめ

キルン基礎の復旧工事において、仮補強のH型鋼を巻き込む形で自己充填型の高流動コンクリートの施工を行った。コンクリートのフレッシュ状態の品質管理では、出荷時、荷卸し時にスランプフローによる管理を行い、出荷時とほぼ同品質のコンクリートを打ち込むことができた。また、充填が難しいと考えられていたスラブ天端部に電池式充填センサーを設置し、充填管理を行った。写真-5は、脱型後にスラブ部分を妻型枠方向から撮影したものである。充填が難しいと考えられていた天端の隅々にまでコンクリートが充填されている事が確認でき、充填センサーの信頼性が高いこと、および高流動コンクリートの高い充填性能について確認できた。



写真-5 スラブのコンクリート充填状況

8 謝辞

この補強工事を遂行するにあたり、三鉦エンジニアリング(株)高月工場長並びに関係各位の御協力を頂いた。紙面を借りて深謝する次第である。

<参考文献>

- 1) 岡村甫・前川宏一・小澤一雅：「ハイパフォーマンスコンクリート」、技報堂出版
- 2) 樋口正典・大中英揮・藤田学・竹内光：「シリカフェームを用いた高性能コンクリートによるPC桁の施工」、コンクリート工学年次論文集、Vol.17、No.1、pp227-232、1995
- 3) 樋口正典・吉原正・山口正晃・磯部是：「烏浜地区高架橋柱頭部における高流動コンクリートの適用(その2 材料および配合)」、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、No.5、pp352-353、1994
- 4) 井手一雄・樋口正典・竹内光：「過密配筋されたシールド二次覆工における高流動コンクリートの適用」コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp195-200、1993