

## 骨材にシャモットを用いた鉄筋コンクリート管の防食効果に関する研究

日大生産工 河合 紘 茲

### 1. まえがき

下水道コンクリート構造物の早期腐食防止対策は、多くの研究者によって講じられているが、その研究成果は経時変化に長期間要すると共に、腐食要因が多岐に及ぶことから、十分な成果が得られていないのが実態である。

下水道コンクリート構造物は、長寿命化、高耐久化および環境負荷低減の観点から、耐久性を向上させ長寿命化を図ることは、新設・既設構造物に関わらず重要な課題である。このような背景から、本報告は下水道コンクリート構造物の腐食防止効果は勿論のこと、環境負荷低減に主眼をおき、年間約98万トン排出される陶器廃材（以後シャモットと略記）をコンクリートの細・粗骨材へ利用し、その強度特性を確認すると共に、下水道コンクリート構造物としての腐食防止効果を掘り下げ、さらに実物大鉄筋コンクリート下水道管での暴露試験評価を報告するものである。

### 2. シャモット

瓦工場、建設現場、一般家庭などから分別収集された屋根瓦、陶器、煉瓦などを写真-1 に示すように中間処理場へ運び込み破碎した。破碎処理した状況を写真-2 に示す。破碎したシャモットを更に土木学会で一般的に提示している粒度曲線範囲内<sup>1)</sup>に収まるように15mm、10mm および 5mm フルイを介して粒度調整を行った。その粒度曲線を図-1 に示す。また、その物性を表-1 に示す。図-1 において、細骨材および粗骨材の粗粒率は、それぞれ 4.17 および 6.22 であった。また、密度は細骨材および粗骨材ともに 2.4 であったが、吸水率は、細骨材が 4.4%、粗骨材が 5.2% であった。吸水率に差異が生じたのは、シャモットが持つ内部機構である細孔径に起因していると推察される。



写真-1 分別収集して中間処理場に運び込まれた屋根瓦、陶器、煉瓦など



写真-2 破碎処理されたシャモット

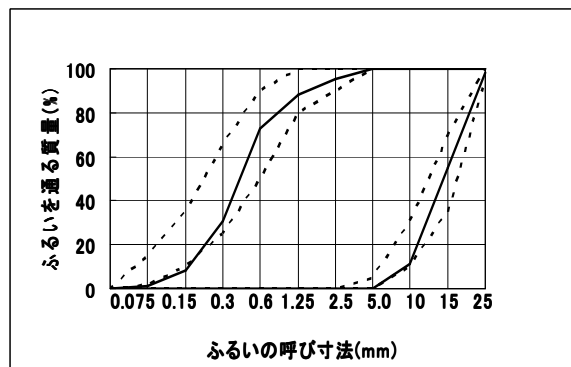


図-1 シャモットの粒度曲線

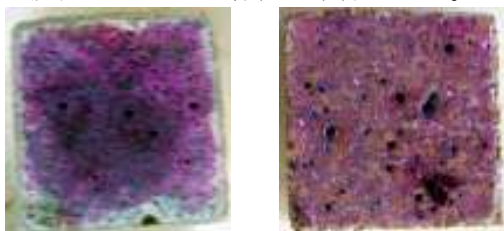
表-1 シャモットの物性

	細骨材	粗骨材
密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.4	2.4
吸水率(%)	4.4	5.2
粗粒率	4.17	6.22

### 3. シヤモットモルタルの基礎実験

シヤモットの強度特性および腐食性状を調べる目的で、JIS R 5201のセメント物理試験方法<sup>2)</sup>に準拠して、標準砂にシヤモット砂を置換して、シヤモットモルタル供試体を作製し、生産工学部校内の下水道施設で暴露試験を行った。モルタル供試体の中酸化状態を写真-3に示す。写真-3から明らかのように標準砂を用いたモルタル供試体は、シヤモットを用いたモルタル供試体に対比して、中酸化が進んでいる。

モルタル供試体の圧縮強度および曲げ強度を表-2に示す。表-2において、材齢1ヶ月のシヤモット供試体の圧縮強度は約52.3N/mm<sup>2</sup>であるのに対して、標準砂供試体の圧縮強度は約59.1N/mm<sup>2</sup>であって、約12%の強度低下が認められた。これに対して曲げ強度は、シヤモット砂モルタル供試体に約3%の強度大が認められた。コンクリートの強度性状は、一般的に圧縮強度に対して曲げ強度は約10%前後と言われている。このことから推察すると曲げ強度が3%大きくなったことは、コンクリート構造物の設計に当たって有利な条件となる。



標準砂モルタル供試体      シヤモット砂モルタル供試体

写真-3 モルタル供試体の腐食状態

表-2 標準砂およびシヤモット砂のモルタル供試体による圧縮および曲げ強度試験結果

	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>
標準砂	59.1	9.3
シヤモット砂	52.3	9.5

注)材齢は28日

### 4. シヤモットコンクリートの製管

シヤモットモルタルバー供試体の強度性状および既往のシヤモットコンクリートおよび普通コンクリートの配合<sup>2)</sup>を参考にして配合設計を行った。その配合を表-3に示す。表-3に基づきシヤモット鉄筋コンクリートの製管を行った。製管状況を写真-4に示すと共に、製管作業内容に要した時間を表-4に示す。普通コンクリートを使用した製管に要する時間は25分であるのに対して、シヤモットコンクリートを使用したコンクリートの製管時間は35分であった。このように10分程シヤモットコンクリートによる製管に時間を要したのは、シヤモット破碎時にシヤモットの破碎表面が鋭角となっていること、密度が普通コンクリートで通常使用している碎石より小さいこと、吸水率が大きいこと等によって、遠心製管した場合、管内面にシヤモットが浮き上がる傾向に起因すると推察される。しかし、細・粗骨材であるシヤモットの物理的性状を十分に把握すると共にシヤモットの品質管理をおこなうことによって、シヤモットコンクリートは鉄筋コンクリート管材料として十分に可能であることが認められた。

表-3 シヤモットコンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					混和剤
	水 W	セメント C	シヤモット		碎石 G	
			S	G		
54.9	263	480	893	267	423	4.8



写真-4 製管状況

表-4 製管の作業内容時間

作業内容	普通 コンクリート	シャモット コンクリート
投入	6分	6分
初速	2分	2分
中速 1	2分	2分
中速 2	2分	2分
高速	7分	7分
仕上げ	6分	16分
合計時間	25分	35分

5. シャモットコンクリート管の外圧圧縮強度  
シャモットコンクリートによる鉄筋コンクリート下水道管の製管が可能であるとの見地から、下水道協会指針に定められている各種強度試験を行った。

外圧試験は、写真-5に示すように、JSWAS A-6<sup>3)</sup> に準拠した静的な外圧試験方法とした。載荷速度に関しては特にJSWAS A-6に規定していないことから、JIS A 5372 プレキャスト鉄筋コンクリート製品<sup>4)</sup> に準拠した。

外圧圧縮強度試験の結果を表-5に示す。表-5において、シャモットコンクリート下水道管は、(社)日本下水道協会規格値に対して、ひび割れ荷重で約1.68倍、破壊荷重で1.68倍であった。また普通コンクリート下水道管に対して、ひび割れ荷重は約1.23倍、破壊荷重は約1.14倍となった。このことから、下水道管としての外圧圧縮強度は十分であることから、実施工を兼ねた暴露試験のための実施工を行った。現在暴露試験実施工区間で防食効果の暴露試験を継続している。



写真-5 外圧圧縮試験状況

表-5 外圧圧縮強度試験結果

	コンクリート種別	試験荷重 (kN/本)	倍率(%)
ひび割れ荷重 (規格荷重 35.4kN/本)	シャモットコンクリート管	59.3	167.5
	普通コンクリート管	48.2	136.2
破壊荷重 (規格荷重 53.0kN/本)	シャモットコンクリート管	88.9	167.7
	普通コンクリート管	78	147.2

#### 6. シャモット鉄筋コンクリート管の軸方向圧縮強度試験

下水道管の強度は施工方法によって異なることから、推進施工方法に要求される軸方向圧縮強度および曲げ強度試験についても試験した。軸方向圧縮強度試験は、(社)日本下水道協会、JSWAS A-6<sup>2)</sup> に準拠して行った。試験状況を写真-6に示す。試験結果を表-6に示す。表-6において軸方向圧縮強度の平均値は57.3N/mm<sup>2</sup>であった。これは、JSWAS A-6に規定されている49.03N/mm<sup>2</sup>に対して約17%大となった。軸方向圧縮強度が普通コンクリートの強度より大きくなった要因としては、前述にも述べたように、シャモット骨材のポズラン反応効果が上げられるが、この他の要因としてシャモット骨材の比表面積が大きいことに起因していると推察される。破壊性状は、管短部の支圧面部で高強度コンクリートの破壊性状に見られる爆裂破壊であった。

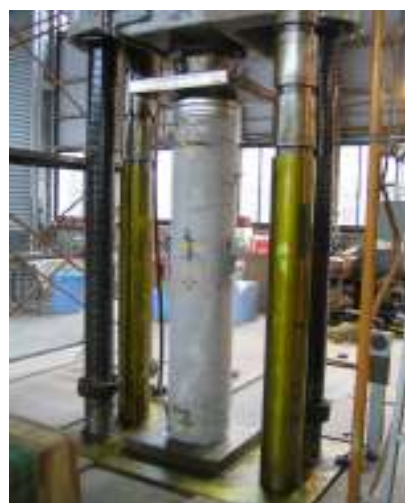


写真-6 軸方向圧縮強度試験状況

表-6 軸方向圧縮強度試験結果

供試体 No.	軸方向圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	
1	58.4	57.3
2	57.1	
3	56.4	

### 7. シヤモツと鉄筋コンクリート管の曲げ強度試験

下水道推進施工方法では、施工中に下水道管が蛇行して推進されることがある。したがって、下水道管の曲げ強度を把握しておくことは重要である。

曲げ強度試験は、軸方向圧縮強度試験と同様に、JSWAS A-6に準拠して行った。試験の状況を写真-7に示す。

曲げ強度試験結果を表-7に示す。表-7において曲げ強度の平均値は、723.2Nであった。これはJSWAS A-6に規定されている607.5Nに対して約12%大となった。このように普通コンクリート下水道管の曲げ強度より大きくなった要因はシヤモツ骨材の表面形状によると推察される。すなわち、シヤモツ骨材と骨材の界面噛み合わせが良好であったと思われる。



写真-7 曲げ強度試験状況

表-7 曲げ強度試験結果

供試体 No.	曲げ破壊強さ N	
1	731.8	723.2
2	722.1	
3	715.7	

### 8. 腐食効果試験

腐食効果試験は、製管時に品質管理用に採集製作したΦ10cm×10cmの円柱供試体を、マンホールに静置し、3ヶ月ごとに質量変化を計測することと、マンホール継ぎ手部から目視で判読した。マンホール部のPhは、夏季、冬季で差異が認められたが、年平均7~9であった。試験結果を写真-8に示す。写真-8において、18ヶ月経過した質量変化は極僅かで判読しにくい。しかし、普通コンクリート供試体表面は、僅かであるが黒褐色に変化しているのに対して、シヤモツコンクリート供試体は、シヤモツ原材料の赤褐色を保っている。このことから、普通コンクリート供試体には質量減少傾向の兆候が有ると推察される。

つぎに、塩分浸漬深さは、普通コンクリートはコンクリート表面から約3~10mmであるのに対してシヤモツコンクリートは表面から2~3mmであった。まだ暴露試験期間が短いことから優劣の判断は控えたい。



写真-8 管理供試体の腐食状況

### 9. まとめ

暴露試験期間が短いことから、防食効果を判断するには困難である。しかし、シヤモツは、鉄筋コンクリート下水道管の材料として十分に活用できると思われる。

### 参考文献

- 1) 土木学会、土木材料実験指導書、2005年
- 2) 日本規格協会、JIS R 5201
- 3) (社) 日本下水道協会、JSWAS A6、
- 4) (財) 日本規格協会、JIS A 5372