

養生方法がジオポリマー遠心成型管のひび割れに及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○野村康市
西松建設（株） 正会員 原田耕司

九州工業大学大学院 正会員 合田寛基 日比野誠
大阪ガス（株） 正会員 西崎丈能 大西俊輔

1. はじめに

近年、下水中の硫酸等によるコンクリート下水管の劣化が深刻化しているため、耐硫酸性に優れるジオポリマー（以下 GP）を用いた下水管の作製が検討されている。GP 遠心成型管は成型時に管の内外面に材料分離が生じるため¹⁾、管の内側ではモルタルが多く、管の外側では骨材が多くなる。このように成型された管では、加温養生時や養生後の静置時に、硬化収縮および乾燥収縮による拘束応力が生じ、管内面における若材齢でのひび割れ、外圧強度の低下につながると考えられる。

そこで、本研究では、拘束応力の要因となる硬化収縮と乾燥収縮に着目し、GP 遠心成型管のひび割れ発生メカニズムを明らかにする基礎研究として、加温養生条件および静置時の水分供給がひび割れ発生時期と外圧強度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料、配合及び供試体寸法

表-1 に使用材料、表-2 に配合を示す。粗骨材は管への充填性、内面の平滑性向上を目的として、最大寸法 10mm の碎石を用いた。一般に GP は練混ぜ時の粘性が高い。その上、遠心成型においては材料の偏りが大きくなるため、配合はノースランプの超固練りとした。本研究は GP 遠心成型管の基礎研究として、管は無筋、寸法は管長約 300mm、外径約 200mm、管厚約 25mm である。

2.2 養生方法

成型後、1 次養生として蒸気養生を行い、加熱養生時間を 60℃で 6、12、18h と変化させた。脱型後、20℃の恒温室内で 2 次養生として水中養生をそれぞれ 3、7、14 日間行い、水中養生終了後、供試体は同室内で気中養生に切り替えた。

3. 実験方法

3.1 強度試験

二次製品として用いることを考慮し、強度は全て脱

表-1 使用材料

使用材料	記号	密度(g/cm ³)
アルカリシリカ溶液	GPW	1.40
フライアッシュ II 種	FA	2.27
高炉スラグ微粉末	BFS	2.91
海砂	S	2.58
粗骨材	G	2.71

表-2 供試体配合

GPW/P	GPW	FA	BFS	S	G
%	kg/m ³				
55	245	267	178	686	1033

型日に測定した。圧縮強度試験は φ100mm×200mm、割裂引張強度試験は φ150mm×150mm の円柱供試体で測定し、外圧強度は目視でひび割れが確認できない管に荷重を加え最大荷重を測定し、管長で除した値とした。

3.2 ひび割れ観察

ひび割れは目視で観察してひび割れ発生時期を測定した。ひび割れ発生時期は脱型日からひび割れが発生するまでの日数を示す。水中養生中の供試体については、水中から取り出し、水滴をふき取り観察した。

4. 実験結果

4.1 強度試験

図-1 に圧縮強度試験と割裂引張強度試験の結果を示す。圧縮強度は、6h は 32.4N/mm²で、18h は 41.4N/mm²であった。一方、割裂引張強度は、6h は 1.90N/mm²で、18h は 2.57 N/mm²であり、どちらも蒸気養生時間が長くなるほど強度が増加している。また、図-2 に外圧強度試験の結果を示す。6h は 10.0N/mm²、12h は 15.1N/mm²、18h は 20.3N/mm²であり、円柱供試体と同様、蒸気養生時間が長くなるほど強度が増加している。

図-3 は各蒸気養生時間の外圧強度試験の最大荷重を割裂引張強度試験の最大荷重で除した値を示す。各蒸

キーワード：ジオポリマー、遠心成型管、蒸気養生、水中養生、ひび割れ、外圧強度

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 建設社会工学科 TEL 093-884-3122

気養生時間で、材料の偏りが生じている管の最大荷重と材料の分布が均一である円柱供試体の最大荷重の比に差が生じていることがわかる。さらに、蒸気養生時間が短いほど、割裂引張強度試験の最大荷重に対して外圧強度試験の最大荷重が小さいことがわかる。管には試験前から硬化収縮による拘束応力が作用していることから、蒸気養生時間が短いほど、外圧強度試験時の最大荷重が小さくなると考えられる。

4.2 ひび割れ発生時期

図-4 より、蒸気養生時間が長くなるほど管のひび割れ発生時期が遅くなっていることがわかる。蒸気養生時間を長くするほど、BFS の水和反応が促進されるため、GP の強度が増加して硬化収縮と乾燥収縮が抑制されたと推察される。しかし、6h の管は水中養生の期間に関わらず、気中養生に切り替えた直後に、ひび割れが発生している。6h では強度発現が小さいため、水中養生終了後、乾燥収縮と硬化収縮による拘束応力が管の強度を上回ったことが要因と考えられる。12h と18h に着目すると、水中養生を3日とした管は、気中養生に切り替えて、およそ5日後までにひび割れが発生している。一方、水中養生を7、14日とした管は、切り替えて10~18日後にひび割れが発生している。これは、水中養生の期間が3日の場合では、BFS の水和反応によるGP の緻密化が不十分なうちに水分供給が絶たれることから、早期に硬化収縮と乾燥収縮による拘束応力が管の内側の引張強度を上回り、ひび割れが早期に発生したと考えられる。一方、7日以上の場合、BFS の水和反応が十分に進行し、GP が緻密化されることから、強度の増進に加え水中養生終了後の乾燥収縮が抑制されたものと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 蒸気養生時間を長くするほど、管の外圧強度は増加する。加えて、硬化収縮と乾燥収縮が抑制されるため、管内のひび割れも抑制される。
- 2) 蒸気養生時間が短くなるほど、強度発現が小さく、管には硬化収縮による拘束応力が作用することから、外圧強度試験時の最大荷重が小さくなる。
- 3) 水中養生を7日以上行くと、BFS の水和反応が促進してGP が緻密化するため、乾燥収縮が抑制される。以上より、加温養生条件や養生時の水分供給がGP 遠

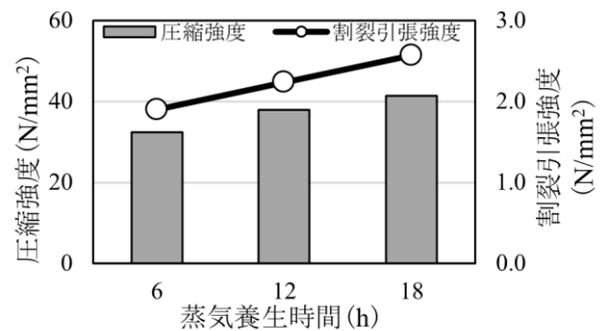


図-1 蒸気養生時間と円柱供試体の強度の関係

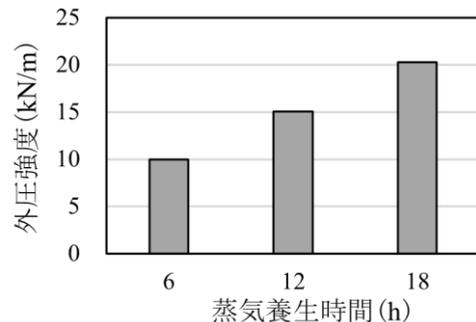


図-2 GP 遠心成型管の外圧強度

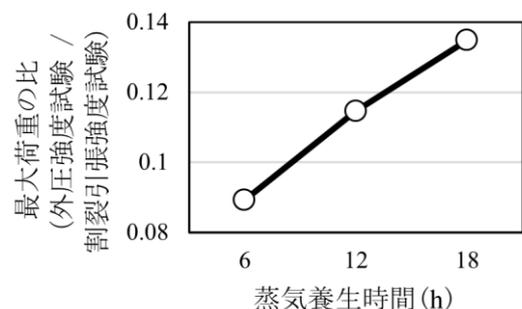


図-3 管と円柱供試体の最大荷重の比

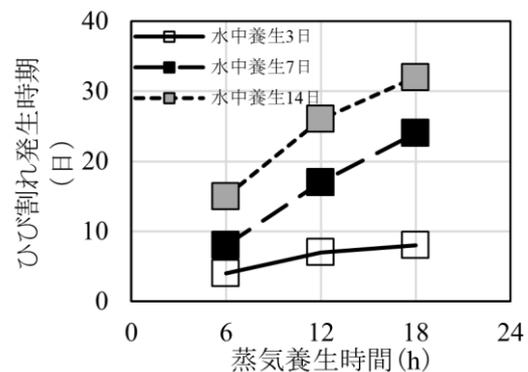


図-4 1次養生と2次養生がひび割れ発生に及ぼす影響

心成型管に及ぼす影響を明らかにした。今後は、硬化収縮や乾燥収縮による収縮量や、拘束応力と外圧強度の関係性について明らかにするとともに、養生方法と細孔径分布の関係性について検討する予定である。

6. 参考文献

- 1) 野村康市ほか：成型時の遠心力がジオポリマー遠心管に及ぼす影響，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2019.3