

論文 地盤材料の骨材粒度による透水性注入モルタルの透水性および注入特性

大橋章^{*1}・丸山久一^{*2}・江本祐橘^{*3}・坂井厚夫^{*4}

要旨：地中構造物の裏込め・埋戻しに用いる砂礫層程度の透水性を有する充填材として開発した透水性注入モルタルの初期空隙率による物性への影響および特定の粒度の骨材によって形成された地盤への注入特性について実験的に検討を行った。その結果、初期空隙率を40～50%内で変化させることにより、流動性に大きな影響を与えずに透水係数 $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ cm/s}$ 程度の透水性が得られることが確認された。また、粒径10～15mm以上の骨材地盤へ浸透し、浸透した地盤内でも連続空隙は形成され、その地盤は 10^{-2} cm/s 程度の透水性を有することが分かった。

キーワード：透水性注入モルタル、透水性、注入特性、初期空隙率

1. はじめに

周辺の地盤が砂礫層などの透水性の高い場合、地中構造物の埋戻しや裏込めに透水性の低い充填材が用いられると、その充填部が地下水の流れを妨げ地下水位の上昇を引き起こし、地中構造物にかかる水圧を増加させ安定性に悪影響を及ぼすことがある。また下流では地下水位が低下し、井戸の枯渇や地盤沈下を引き起こすことがある。

そのため、従来の充填材に要求される流動性と地下水の流れを妨げない透水性を付与する充填材として透水性注入モルタル（以下：透水モルタル）の研究・開発が行われ、既往の研究¹⁾により起泡剤と発泡剤を併用し多量の気泡を混入・発泡させることにより、モルタル内部に連続空隙が形成されることが確認され、ある程度の流動性と透水性を有する透水モルタルの製造方法が確立されている。

本研究は、透水モルタルの物性に著しく影響を及ぼすと思われる初期空隙率の影響と、特定の粒度にふり分けられた骨材を型枠に詰め形成し

た数種類の地盤模型へ注入試験を行いその注入特性について実験的に検討を行った。

2. 実験概要

2.1 品質目標値

透水モルタルは、地中構造物等の裏込め・埋戻しを目的としており、硬化前にその目的の空間を十分に充填できる流動性と硬化後に地下水の流れを妨げない透水性を有することが重要であり、強度は周辺土と同等ないしやや高ければ十分である²⁾と考えており、品質目標値として流動性は一般に裏込め用エアモルタルで基準とされるP漏斗流下時間 25 ± 5 秒、透水性は砂礫層程度とし透水係数 10^{-2} cm/s 以上、強度については圧縮強度 1 N/mm^2 程度としている。

2.2 使用材料及び配合

使用材料を表-1に示す。細骨材の粒度は、ブレバクドコンクリート用注入モルタルの規格に準ずるものを使用した。細骨材の物理的性質を表-2に示す。起泡剤は、練上り直後に多量の気泡を混入させるために使用した。発泡剤

*1 ショーボンド建設（株） 工修（正会員）

*2 長岡技術科学大学教授 工学部環境建設系 Ph.D（正会員）

*3 大木建設（株） 常務取締役

*4 新潟県

は特殊な表面処理により反応開始を1～2時間程度遅延させたものを使用することで連続空隙が形成される。また、連続空隙形成の助剤として増粘剤と高性能減水剤を使用した。配合を表-3に示す。初期空隙率は攪拌時間を調整することにより40～50%の範囲で変化させた。

表-1 使用材料

種類	記号	名称, 主成分など
水	W	水道水
セメント	C	早強ポルトランドセメント, 比重3.12
細骨材	S	信濃川産川砂
起泡剤	Fa	アミン系界面活性剤, 比重1.05
発泡剤	Al	特殊表面処理アルミニウム粉末
増粘剤	Ad	アクリル系高分子化合物
高性能減水剤	Sp	ナフタリンスルホン酸系, 比重1.20

表-2 細骨材の物理的性質

細骨材	粒径 (mm)	比重	粗粒率	吸水率 (%)
川砂	1.2以下	2.60	1.73	1.79

表-3 配合

S/C	W/C	Fa/C	Al/C	Ad/W	Sp/C	初期 空隙率 (%)
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
4	90	3	0.6	0.05	0.5	40～50

2.3 練混ぜ方法

透水モルタルの練混ぜには容量11.4ℓのホバート型ミキサを使用し、細骨材、セメント、発泡剤を低速（106rpm）で30秒間攪拌後、残りの材料を投入し低速で30秒攪拌後かき落としを行い、さらに中速（196rpm）で5～10分間の攪拌を行い、初期空隙率を40～50%の範囲になるようにした。

2.4 試験方法

(1) 流動性試験

流動性試験は、JSCE - F521「P漏斗による方法」及びJIS R 5201「フローテーブルによる方法」を行った。

(2) 空隙率試験（初期空隙率，全空隙率および連続空隙率）

ここで空隙とは、モルタル中に主として発泡剤と起泡剤によって発生させた気泡の総量である。初期空隙率は、練上り直後の空気量であり、フレッシュモルタルの質量を測定し配合より算出した。また、硬化後のモルタル中の空隙は、透水性に関与すると思われる連続空隙と関与しない独立空隙に分類し、これらを足し合わせた空隙を全空隙と定義する。連続空隙率と全空隙率は、供試体の水中質量、水で飽和した供試体の20±2℃で24時間気中養生後の表乾質量、24時間の炉乾燥を行った後の絶乾質量および実寸法を測定し、供試体の体積比から求めた。¹⁾

(3) 透水性試験

透水性試験は、JIS A 1218「土の定水位透水試験」に準じて行った。供試体はφ10×h10cmとし、密封養生7日で測定を行った。

(4) 圧縮強度試験及び単位容積質量

圧縮強度試験は、JISA 1161「気泡コンクリートの圧縮試験方法」に準じて行った。供試体はφ5×h10cmとし密封養生を行い、材齢3，7，28日で試験を行った。単位容積質量は、その供試体の重量を測定し算出した。

(5) モールド注入試験及び浸透距離試験

モールド注入試験は、表-4に示すNo.1～3の骨材に対して、図-1に示すように中央にP漏斗をゴムホースで接続した長さ1m、φ13mmの注入管を立てたφ10×h20cmの型枠に骨材を詰め地盤模型を形成し、P漏斗を約2ℓのモルタルで満たしながら自然流下方式により注入を行い、注入前後の質量を測定し充填率を算出した。また、良好に充填されたものを供試体とし、密封養生を行い硬化試験を行った。浸透距離試験は、表-4に示すNo.2～5の骨材に対して、図-2に示す片面をアクリル板にした10×10×150cmの型枠に骨材を詰め、端から5cmの位置に注入管を立てモールド注入試験と同様の注入を行い、目視により浸透距離を測定した。また、No.4，5の骨材に対しては、注入後、材齢7日まで密封養生を行い、長さ10cmにカットし10×10×10cmの供試体とし空隙率試験と透水性試験を行った。

表-4 地盤模型に使用した骨材の物性

地盤 No.	種類	粒径 (mm)	比重	実積率 (%)
1	碎石	5~10	2.68	54.7
2	碎石	10~15	2.68	53.4
3	碎石	15~20	2.68	52.5
4	玉砂利	20~30	2.70	52.6
5	玉砂利	30~40	2.70	52.7

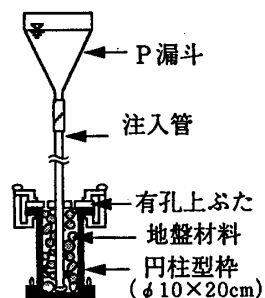


図-1 モールド注入試験装置

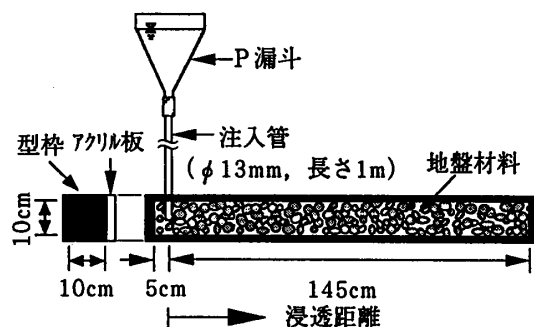


図-2 浸透距離試験装置

3. 実験結果及び考察

3.1 初期空隙率による物性への影響

攪拌時間を調整し初期空隙率を40~50%の範囲で変化させたときの物性を以下に述べる。

(1) 初期空隙率と流動性の関係

初期空隙率とP漏斗流下時間の関係を図-3に示す。この図から、初期空隙率が40~50%であれば流下時間は25秒程度であり、品質目標値である 25 ± 5 秒が確保されることが確認された。また、P漏斗流下時間は初期空隙率が40%程度では25~27秒に集中しているが、50%に近づくにつれ25秒以下の値を示す傾向が見られる。このことから、初期空隙率が増加すると、流動性は多少向上する傾向にあると考えられる。また、

これは、気泡のボールベアリング効果による影響と思われる。図-4に初期空隙率とテーブルフロー値の関係を示す。テーブルフロー値には、初期空隙率による影響は見られず、打撃前は200~220程度であり、打撃後は240~250程度と35程度の広がりを示した。これらの結果から、初期空隙率による流動性への影響は、フローテーブルよりP漏斗の方が多少現れやすい傾向にあるといえる。

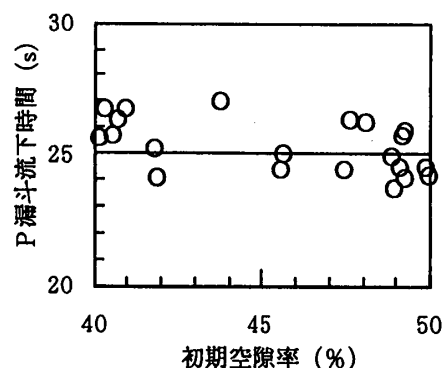


図-3 初期空隙率とP漏斗流下時間

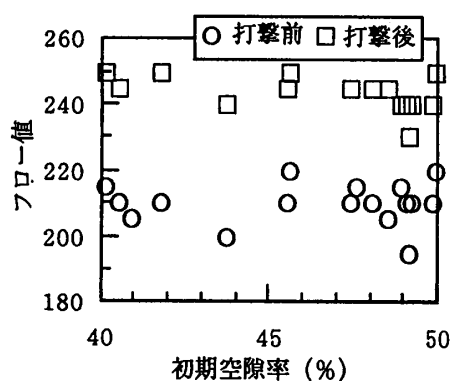


図-4 初期空隙率とテーブルフロー値

(2) 透水係数と空隙率の関係

初期空隙率と材齢7日の透水係数、全空隙率及び連続空隙率の関係を図-5に示す。この図から初期空隙率が増加すると透水係数、連続空隙率及び全空隙率はともに増加することがわかる。透水係数は初期空隙率40~50%で $10^{-2} \sim 10^{-1}$ cm/s程度の高い値を有しており、初期空隙率の10%の増加で透水係数は10倍近く増加する。

また、初期空隙率45%程度の物性は測定していないが、初期空隙率と透水係数、全空隙率及び連続空隙率はおおよそ直線的な関係にあると判断でき、初期空隙率を調整することによりある程度透水性を調整することが可能である。全空隙率は初期空隙率が50%に近いときには初期空隙率と同程度であるが、初期空隙率が40%程度になると小さくなっている。これは、脱泡の影響ではなく、供試体の水中質量の測定の際に完全に飽和状態にならず内部に空気が残っていたためと思われる。そのため、より正確な硬化後の空隙率を測定するためには真空ポンプ等により空気を抜く必要がある。

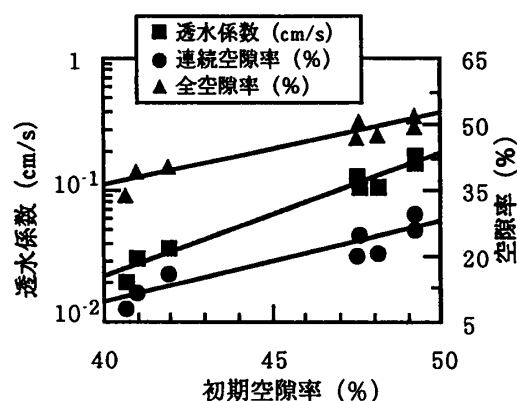


図-5 初期空隙率と透水係数及び空隙率

(3) 初期空隙率と圧縮強度および単位容積質量の関係

初期空隙率を40, 45, 50%程度に調整した透水モルタルの材齢3, 7, 28日における圧縮強度及び単位容積質量を図-6に示す。この図から、圧縮強度と単位容積質量は、初期空隙率が増加すると逆に低下することがわかる。圧縮強度は、早強ポルトランドセメントを使用しているため、初期空隙率の大きさに関わらず材齢7日以降の強度発現が小さい傾向にある。初期空隙率40~50%では材齢28日強度は0.8~1.0N/mm²程度を示した。起泡剤を用いた気泡混合軽量土ではφ5×h10cmの供試体よりφ10×h20cmの供試体の強度が多少小さくなる傾向があり³⁾、透水モルタルも同様の傾向を示す恐れがあり今後検討す

る必要がある。単位容積質量は、1.05~1.20t/m³程度と軽量である。

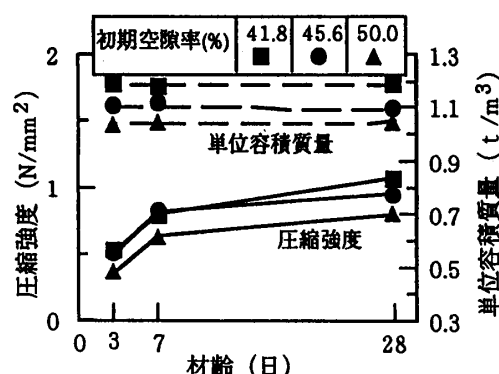


図-6 材齢と圧縮強度及び単位容積質量

3.2 モールド注入試験結果

透水モルタルが浸透する骨材粒度を調べるために、初期空隙率40%と50%程度に調整したものに對して、表-4のNo.1~3の骨材を用いてモールド注入試験を行った結果を以下に示す。

(1) 骨材粒度と充填率の関係

骨材粒度と充填率の関係を図-7に示す。この図から初期空隙率が40~50%の透水モルタルは粒径10~15mmの骨材によって形成される程度の空隙径があれば浸透し、粒径5~10mm以下ではほとんど浸透しないことがわかる。また、粒径10~15mmと15~20mmの充填率が100%以上を示しており、注入の圧力により気泡の体積の減少が生じていると思われる。そのため、各粒度とも初期空隙率の高い方が多少充填率が高い値を示しているが、この結果から初期空隙率による浸透性への影響の判断は出来ない。

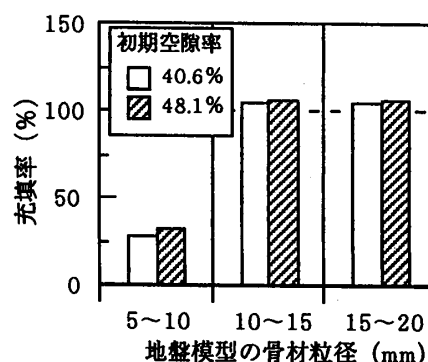


図-7 地盤模型への充填率

(2) 地盤模型の透水係数と空隙率

透水モルタルで充填された粒径15～10mmと粒径20～15mmの地盤模型の材齢7日における透水係数と空隙率を図-8に示す。透水モルタルを注入した地盤模型は透水係数 10^{-2} cm/s程度を有しており、透水モルタルは骨材地盤に注入されても連続空隙を形成し透水性を有することが確認された。また、透水係数は初期空隙率が大いほど、骨材粒径が大いほど高い値を示している。注入された透水モルタル自体の物性は、地盤模型とした骨材の実積率が50%程度であることと空隙率から判断すると、注入しないものとはほぼ同程度であると考えられる。また、空隙率に比べ透水係数が大きな割合で低下しているのは、地盤骨材により透水経路が複雑化しているためと考えられる。

(3) 地盤模型の圧縮強度と単位容積質量

透水モルタルで充填された粒径10～15mmと粒径15～20mmの地盤模型の材齢3, 7, 28日における圧縮強度と単位容積質量を図-9に示す。透水モルタルが注入された地盤模型の圧縮強度は、図-6に示した透水モルタルの圧縮強度と同様に、初期空隙率が大いほど低く、材齢7日以降の増加が小さい傾向にある。単位容積質量は、初期空隙率が大いほど小さくなり、また、材齢による変化は特に見られない。

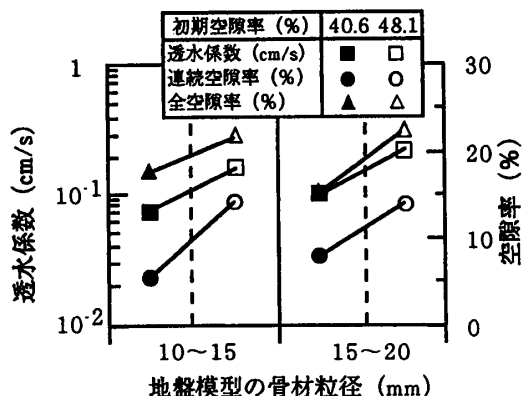


図-8 地盤模型の透水係数と空隙率

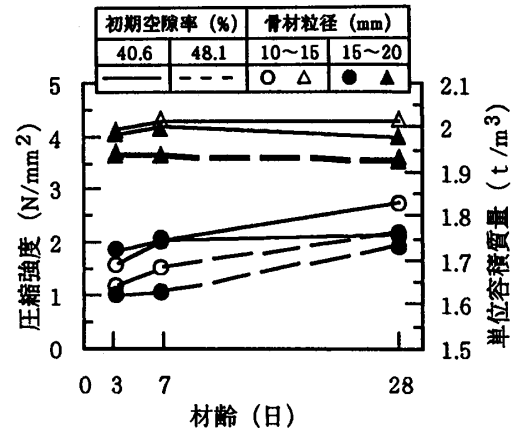


図-9 地盤模型の圧縮強度と単位容積質量

3.3 浸透距離試験結果

(1) 骨材地盤への浸透性

透水モルタルの浸透性を確認するために初期空隙率及び骨材粒度を変化させ浸透距離を測定した結果を図-10に示す。図より、初期空隙率が大いほど浸透距離は長くなり浸透性が高くなることからわかる。また、初期空隙率が50%程度の透水モルタルでは粒径が20～30mmでは80cm程度まで浸透することが確認された。

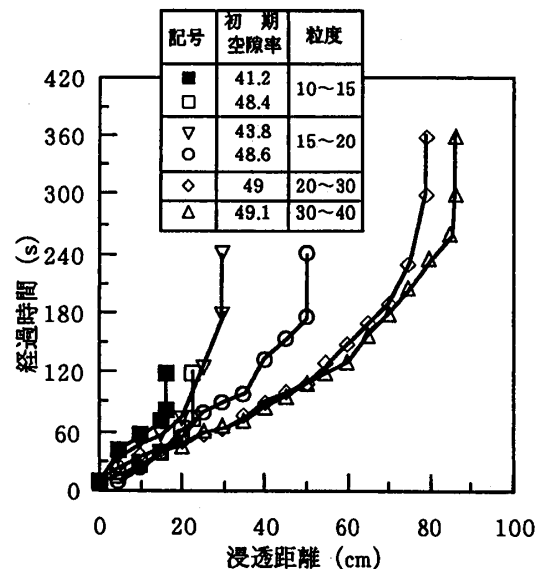
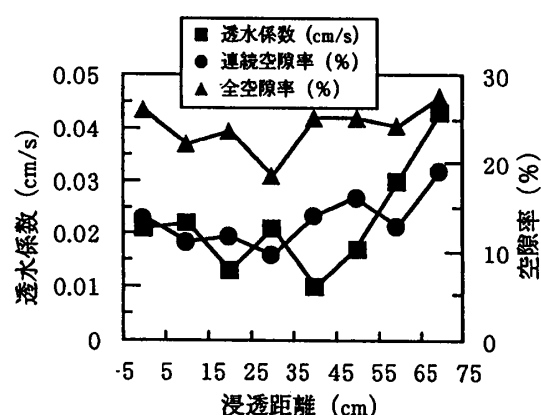


図-10 地盤模型への浸透距離

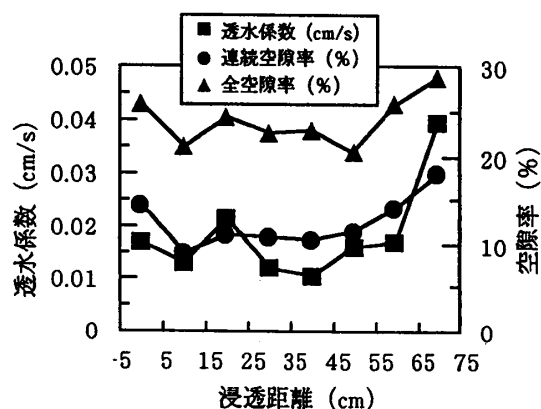
(2) 流動による透水性と空隙率への影響

粒径20～30mmと粒径30～40mmにおける浸透距離と透水係数及び空隙率の関係を図-11, 図

—12に示す。これらの図から、粒径20～30mmと粒径30～40mmでは物性に大きな差は見られない。また、浸透による影響も特に見られず、ある程度流動しても物性に大きな影響を及ぼさないと考えられる。浸透距離65～75cm部分が、他の部分に比べ透水係数と空隙率がともに大きな値を示したのは、浸透の先端に近いため拘束が小さい影響によるものと思われる。全体的に透水係数は $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 、連続空隙率は10～15%、全空隙率は20～25%程度の物性を有している。



図－11 粒径20～30mmの地盤模型の透水係数と空隙率



図－12 粒径30～40mmの地盤模型の透水係数と空隙率

4. まとめ

(1) 透水性注入モルタルの透水性は初期空隙率

と強い相関関係にあり、初期空隙率を40～50%の範囲で調整することにより、透水係数を $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ cm/sec}$ の範囲である程度調整することが可能である。

(2) 透水性注入モルタルは、粒径10～15mmの骨材によって形成される空隙径以上の空隙に浸透する。

(3) 地盤模型へ注入されても透水性注入モルタルの物性には大きな変化は生じず地盤内でも連続空隙を形成し、その地盤は 10^{-2} cm/sec 程度の透水性を有する。

参考文献

- 1) 外館良之・丸山久一・下村匠：透水性を有する注入材料の開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No1，pp.1005-1010，1996
- 2) 日本コンクリート工学協会：充填材の品質評価研究委員会中間報告書，p.77，1992.12
- 3) 日本道路公団：F C B材料の基本特性に関する共同研究報告書（Aグループその1），p.32，1992.4