

地中埋設管の埋め戻し材に用いられる流動化処理土の特性

山田 耕一* 安井 章*
力石 大彦** 加藤 一男***

要 旨

近年、電力・通信ケーブルを地中埋設する場合に専用の埋設保護管を利用するケースが増えている。その場合の埋設保護管の埋め戻し材として掘削した発生土を加水調整し、セメント等の固化材を添加して流動化した固化処理土（流動化処理土）を使用することがある。流動化処理土は良質土により完全な埋戻しが出来ない場合や入り組んだ狭い空間にも適用でき、固化後の工学的性質も自由に選択することが可能である。本研究においては、電力・通信ケーブル用の埋設保護管路に、流動化処理土を埋戻し材として用いた場合の充填性及び品質の確認を行った。また、トンネル火災等を想定し、処理土の耐熱特性の確認試験も行った。

1. まえがき

トンネル内などにて電力・通信ケーブルを地中埋設する場合に専用の埋設保護管を利用することがある。その時、設管の埋め戻し材として、現地発生土を加水調整し、セメント等の固化材を添加した流動化処理土を用いることがある。この流土化処理土については建設省土木研究所より流土化処理土利用技術マニュアル¹⁾が発行されているが、流動化処理土の使用実施例はまだまだ少なく、その特性は十分に把握されていない。

そこで本研究においては、マニュアルに示される流動化処理土の工学的性質を確認するとともに、今後このような処理土を用いる場合に大きな課題と考えられるトンネル火災などに対する耐熱特性の確認実験も行った。

実験は、図 - 1 に示すフローにより実施した。

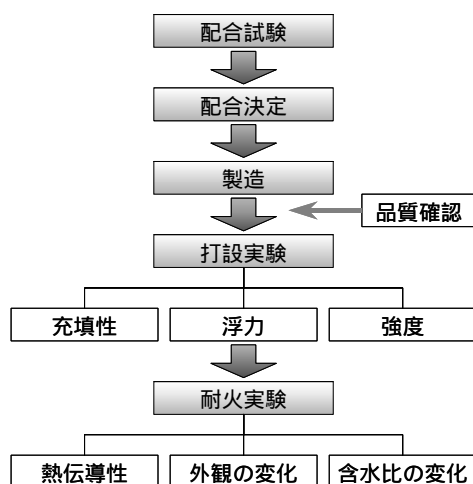


図 - 1 実験フロー

2. 流動化処理土の打設特性

2.1 配合試験

流動化処理土を埋設保護管の埋戻しに用いる場合、充填性、管の浮き上がり、強度等の問題が懸念される。そこで打設実験を行い、これらの確認を行った。流動化処理土の品質は強度、流動性、材料分離抵抗性（ブリージング率）で評価を行った¹⁾。

実験で用いた原料土は、関東ローム（栃木県黒磯市）である。表 - 1 に、原料土の物理試験結果を示す。また流動化処理土の密度、フロー値、ブリージング率、一軸圧縮強さを調べるため行った配合試験条件を表 - 2 に示す。混練条件は有機質土用特殊セメントを粉体で添加し、ソイルミキサーにて 10 分間攪拌（5 分後に容器の周りについた試料を掻き落とし手練り）した。供試体を各 3 本

表 - 1 試料の物理特性

湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.320	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.713	
自然含水比 w_0 (%)	74.1	
粒度組成	砂分 (%)	27.6
	シルト分 (%)	45.9
	粘土分 (%)	26.5
コンシステンシー	液性限界 w_L (%)	109.7
	塑性限界 w_P (%)	66.8
	塑性指数 IP	42.9
強熱減量 L_i (%)	12.6	

表 - 2 配合条件

含水比 (%)	固化材添加量 (kg/m ³)		
	100	120	140
1.5 w_L			
2.0 w_L			
2.5 w_L			

*技術研究所 **土木設計部 ***大阪支店

作製し、材令 1、7、28 日で 20 恒温養生後、一軸圧縮試験(ベンセン断試験)を行った。

各試験結果を図 - 2 ~ 図 - 5 に示す。

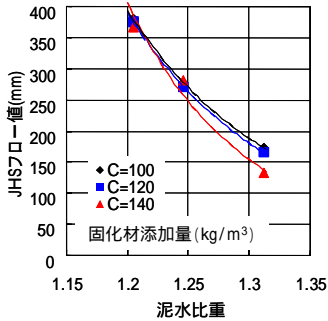


図 - 2 フロー値と比重の関係

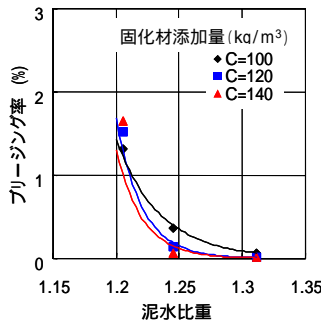


図 - 3 プリージングと比重の関係

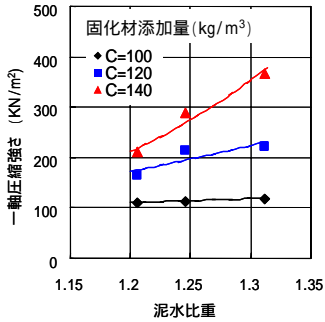


図 - 4 強度と比重の関係

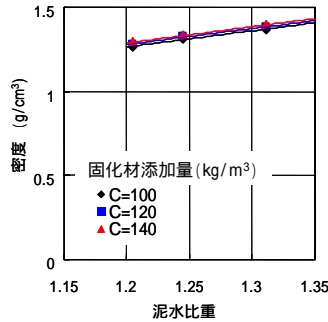


図 - 5 密度と比重の関係

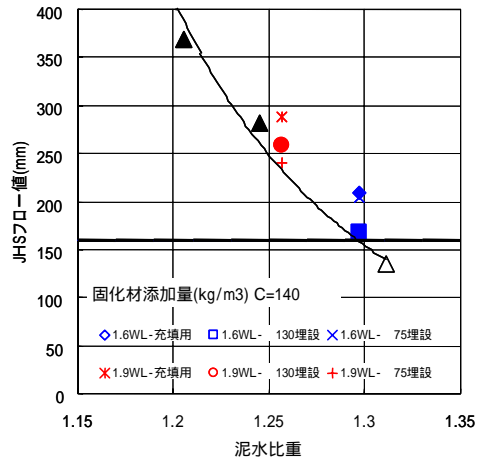


図 - 6 フロー試験結果

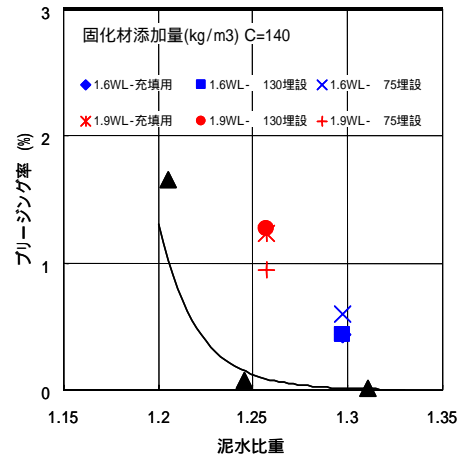


図 - 7 プリージング試験結果

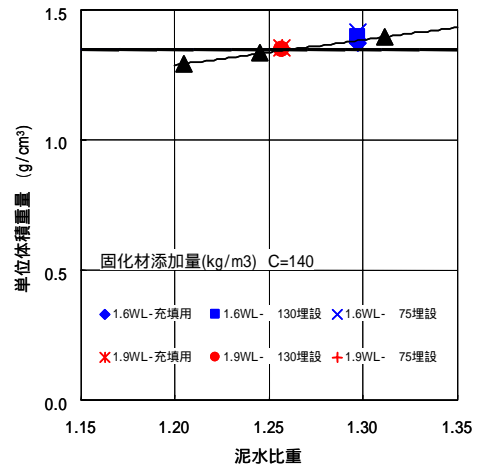


図 - 8 密度試験結果

2.2 打設実験

2.2.1 品質

今回の実験では施工性を確認するため、軟らかいものと硬いものとの2種類の配合(それぞれの液性限界WLの1.9倍及び1.6倍)で行った。また、流動化処理土の要求品質マニュアル¹⁾より決定した(フロー値160mm以上、プリージング率3%未満、密度1.35g/cm³以上)、表-3に標準配合を示す。

表 - 3 流動化処理土 1m³当りの配合

含水比 (%)	土量 (kg)	水量 (kg)	セメント添加量(kg)	泥水比重
208(1.9WL _L)	408	849	140	1.257
175(1.6WL _L)	472	825	140	1.297

流動化処理土は、未固結状態で品質の確認を行う必要があり、打設前の品質管理としては、流動化処理土の密度、フロー値、プリージング率についての試験を行った。

図 - 2 ~ 図 - 5 で示した基本配合図に、実験で打設した流動化処理土のフロー試験、プリージング試験、密度試

験結果をプロットしたものを、図 - 6 ~ 図 - 8 に示す。試験結果は、フロー値、プリージング率、密度においてすべてマニュアルに示される要求品質をほぼ満たしており、適切な配合が行われたことがわかる(図中の太線はマニュアルに示される基準値を示す)。

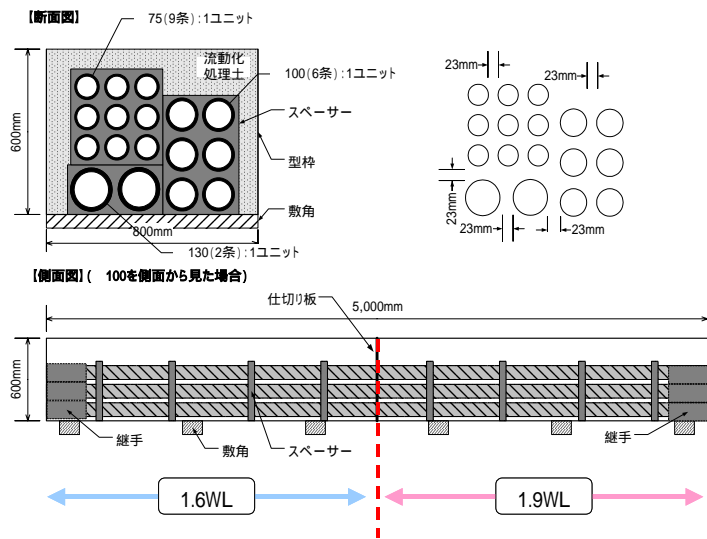


図 - 9 充填性実験概念図



写真 - 1 流動化処理土打設状況

2.2.2 充填性

流動化処理土の流動性は、現場での充填性、施工性などに大きな影響を与えるものであり、通常はフロー試験（JHS A 313）により得られるフロー値で評価される。そこで、流動化処理土のフロー値と充填性の関係を把握するために実験を行った。

流動化処理土を埋設保護管の埋戻しや空洞充填などに用いる場合、その充填性が問題となる。そこでフロー値と充填性の関係を調査するために2種類の異なる配合の流動化処理土を用いて実験を行った。実験概要を図-9に示す。この実験では複雑で狭隘な埋戻し空間を再現するため、2.5mの埋設保護管（75mmを3条×3段、100mmを2条×3段、135mmを2条×1段）を2種類準備し、5m×0.6m×0.8mの型枠に仕切り板を介して直線上に設置した。

実験では、まず、1.9WLの配合を行った流動化処理土をミキサーで練り、ポンプを用いて直接打設し、次に1.6WLの配合を行った流動化処理土を打設し、充填性の確認を行った。流動化処理土の攪拌に当っては原料土が固粒化するのを防ぐため、水とセメントを先に混ぜてセメントスラリーを作り、それを加水調整された原料土に混ぜた。なお、打設中の状況を写真-1に示す。

実験結果より、形状が非常に複雑で狭小な空間においても充填が行われていることが、型枠脱型後の両端部及び切断による断面を目視で確認することによりわかる（写真-2）。ただし両端部（、）は、継手があるため切断面（、）よりも間隔が狭くなっている。

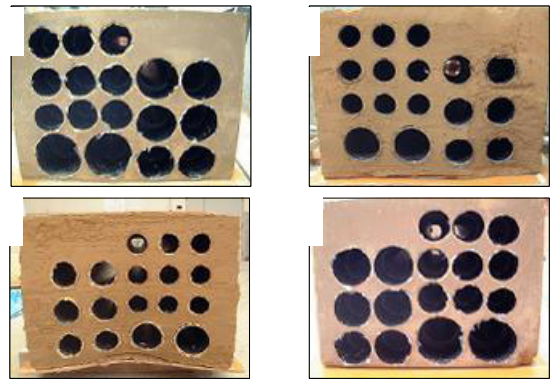
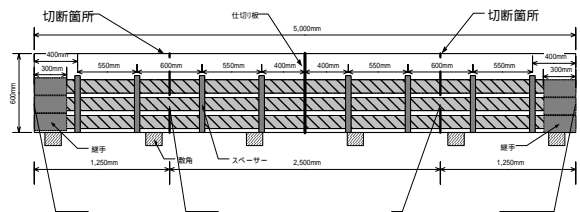


写真 - 2 流動化処理土の充填状況

2.2.3 埋設管に働く浮力

埋設管や地下埋設物を流動化処理土で埋戻す場合、浮力による埋設物の浮き上がりが懸念される。そこで、流動化処理土により埋戻された埋設管に働く浮力を実験により測定した。

実験は2種類の流動化処理土（1.9WL, 1.6WL）で行い、径の異なる2種類（130mm, 75mm）をそれぞれ埋戻した型枠に打設を行った。その実験装置を図-10、写真-3に示す（例：130mmの管を埋戻の場合）。

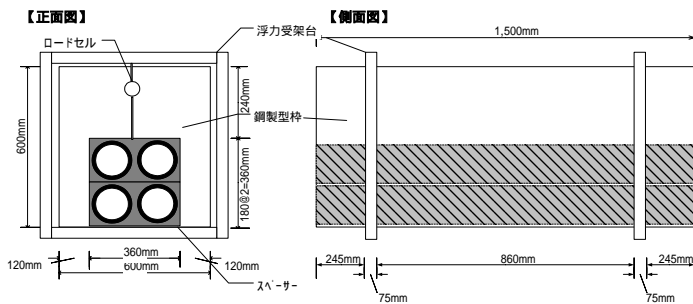


図 - 10 浮力測定実験装置(例 130 埋設時)



写真 - 3 浮力測定実験型枠(例 130mm 埋設時)

打設はポンプで行い、打設土量が均一になるように型枠の内側側面に印を設けて打設した。130mmを埋設時は4層、75mmを埋設時は6層で分けて打設し、浮力と打設時間を計測した。

ケース毎の浮力測定結果を図 - 11 に示す。同図には流動化処理土打設重量、実測浮力、及び理論浮力が示してある。理論浮力とは、流動化処理土の比重、管体容積及び管体重量、スパーサー容積及びスパーサー重量から求めた理論的に計算される浮力である。

また、浮力の減衰状況を把握するために打設終了後も測定を行った(図 - 12)。

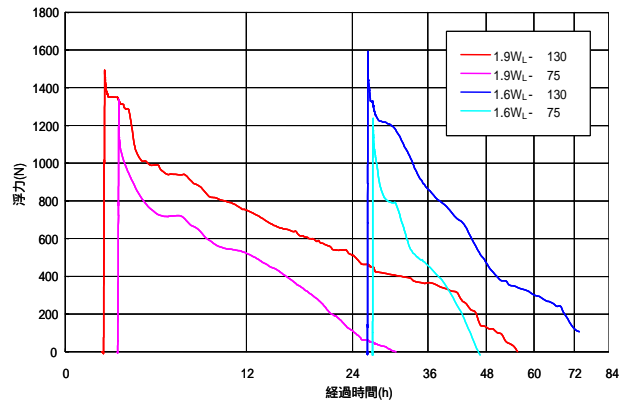


図 - 12 浮力収束結果(打設終了後)

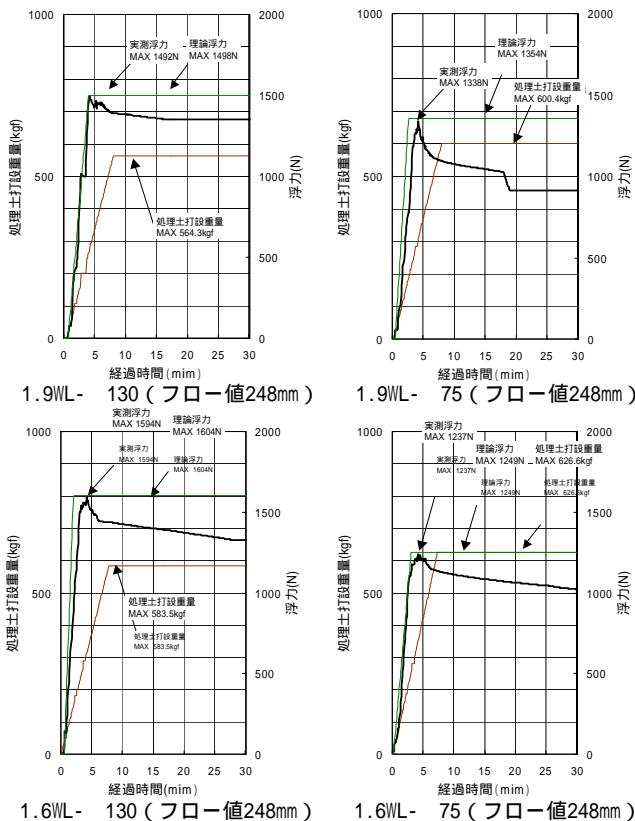


図 - 11 浮力計測結果(打設時)

この実験の結果より、フロー値が160mm~250mmの値にある時、流動化処理土の粘性力は埋設管に働かず、最大浮力は理論浮力とほぼ同等の力が一瞬働き、打設完了後、急速に低下することが分る。また、打設土量と浮力の関係には大きな時間遅れは生じていない。

また、浮力が収束するまでには2日~3日必要とし、理論浮力の半分の浮力になるには約12時間必要とすることがわかる。

以上の結果から、流動化処理土による埋設管及び埋設物の埋戻しには、浮き上がり対策をする必要があることが分る。対応策として最も簡易な方法は、埋設物を一挙に埋め戻すことを避ける施工上の工夫を行うことである。しかし、市街地などの道路下においては短い時間で完了しなければならないので、高い流動性を持つ流動化処理土を一気に打設する必要がある。このような場合には、あらかじめ埋設物をベルト等で固定したり、理論浮力相当のおもしを乗せるなどする対策が考えられる。

2.2.3 強度

実験で用いた流動化処理土の一軸圧縮試験結果を図 - 13 に示す。この結果より、所定の強度が得られていることが分る。また、流動化処理土の強度は、通常一軸圧縮

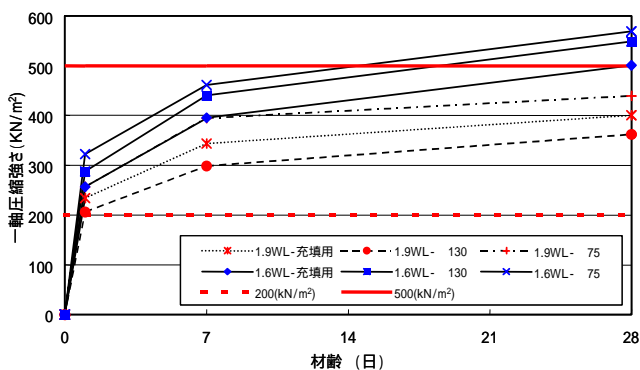


図 - 13 一軸圧縮強度変化 (打設時)

強さで評価するが、用途や適用箇所によっては他の強度定数 (C B R 等) によって評価される場合もある。また、通常 7 日材令時の一軸圧縮強さと 28 日材令時の一軸圧縮強さとは相関性が高く、7 日材令時の試験結果より 28 日材令時の強さが近似的に求めることができる。

3. 流動化処理土の耐火特性

3.1 小型加熱炉を用いた室内耐火実験

3.1.1 実験内容

小型加熱炉を用いた室内耐火実験は、図 - 14 に示すように舗装下に埋戻した場合を想定し、碎石を 100mm 敷均した上に試験体を設置する場合と直接試験体を加熱する 2 ケースについて行った。実験で用いた小型加熱炉 (B : L : H = 1.4m × 1.4m × 1.0m) は高断熱質セラミックファイバーブロックの内張りで、燃焼はガスで行い、運転は標準加熱曲線に沿った加熱ができるように自動温度制御を組んでいる。

試験体は、表 - 4 に示す配合で作製し、大きさは B : L : H = 0.6m × 1.5m × 0.65m である。また、土被り厚 300mm のところに融点が 132 の難燃性ポリエチレン樹脂の埋設保護管を設置した。さらに温度測定を行うために熱電対を加熱面から 0、50、150、250、300mm の位置に設置した (図 - 15)。そして、試験体の周囲は、熱が外へ逃げないように断熱材で囲った。炉内温度については、JIS A 1304 の加熱曲線に準じて 5 分間で 500 まで加熱し、その後 2 時間は約 500 を保持した。

3.1.2 室内耐火実験結果

(1) 加熱温度と距離の関係

図 - 16 の横軸に加熱面からの距離、縦軸に測定温度を示す。使用したデータは 2 時間加熱直後のものである。図より熱伝達の影響が大きいのは加熱表面から 50mm 程度であり、「碎石有り」の熱伝達が小さいことがわかる。

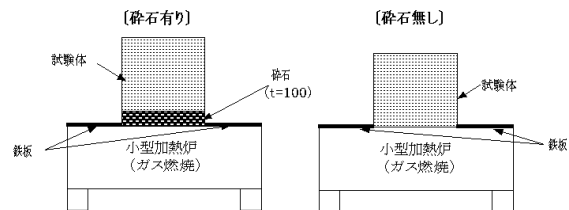


図 - 14 耐火実験概要図

表 - 4 配合表 (1m³ 当り)

実験用途	土量 (kg)	水量 (kg)	セメント添加量 (kg)	泥水比重
室内実験	472	825	140	1.297
屋外実験	408	849	140	1.257

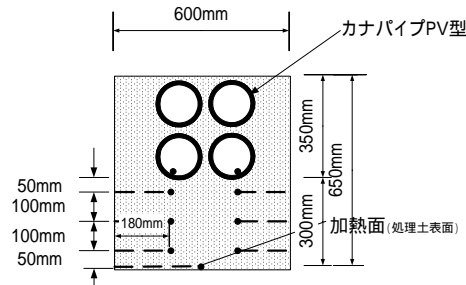


図 - 15 熱電対設置位置図

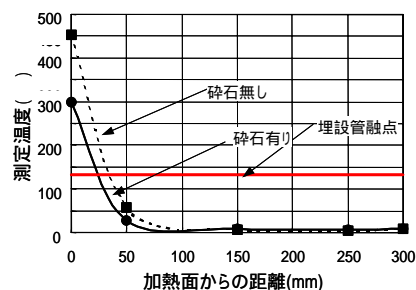


図 - 16 温度分布図

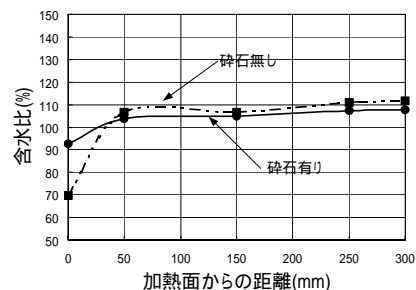


図 - 17 含水比計測結果

(2) 含水比の変化と距離の関係

実験中の様子としては、「碎石有り」の場合は最初の30分位試験体より水蒸気が発生したが、「碎石無し」の場合は試験体から常に水蒸気が発生していた。図-17は温度測定を行った各層における含水比の計測結果であるが、「碎石無し」のほうが表面の脱水が大きいがわかる。

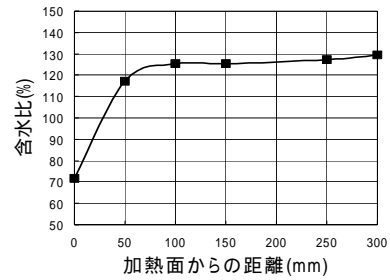


図-20 含水比測定結果

3.2 屋外燃焼実験

3.2.1 実験内容

屋外燃焼実験では、試験体表面上に薪を組み燃焼させる実験を行った(図-18)。試験体は表-4に示す配合で作成し、土被り厚300mmのところ埋設管を設置した。その他の実験状況は室内耐火実験と同様である。なお、加熱時間も室内耐火実験同様に2時間を目標に行った。

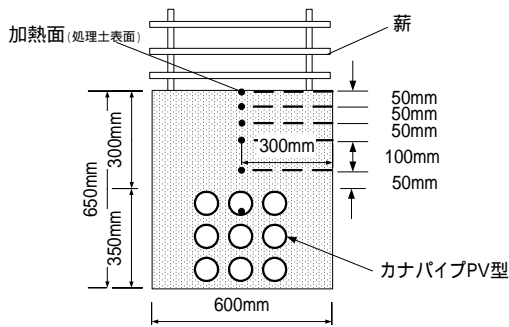


図-18 燃焼実験概要図

3.2.2 燃焼実験結果

燃焼2時間後の加熱面からの距離と測定温度の関係を図-19に示す。実験中、表面温度は約770℃まで達したが、試験体からは、水蒸気等の発生は確認できず、外観上の変化は見られなかった。実験後の含水比の計測結果を図-20に示す。室内耐火実験と同様に加熱表面から50mm程度迄は、熱伝達の影響が見られる。

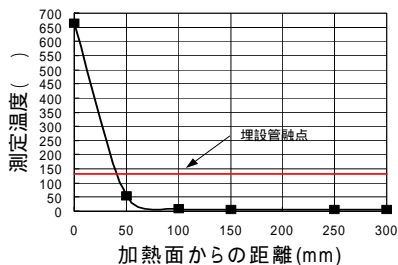


図-19 温度分布図

3.3 耐火実験結果

室内耐火実験と屋外燃焼実験とではほぼ同様の実験結果が得られた。

500℃程度で2時間燃焼加熱しても加熱面から50mmのところでは内部温度が60℃程度であり、固化処理土は熱の伝達しにくい材料であることが分かった。このことから、埋設管の土被り厚は耐熱性の観点から考えると100mmあれば充分であると判断される。

室内耐火実験及び屋外燃焼実験において加熱面から50mmのところまでは含水比の減少が見られたが、それより内部では大きな変化は見られなかった。また、室内耐火実験で碎石を使用したときの方が含水比の変化が小さいことより、碎石による断熱効果が確認された。

以上より、現地発生土を流動化処理土により埋め戻された埋設保護管路の火災に対する耐熱性が確認された。

4. まとめ

- (1) 流動化処理土により埋設保護管間の狭い空間も充填されているのが確認された。
- (2) 打設時においては、パイプ内部の空間に相当する理論浮力が発生することが確認された。
- (3) 流動化処理土の強度は、配合設計どおりの強度が得られた。
- (4) 流土化処理土の耐熱性は十分であり、表面を500℃で2時間加熱してもその影響範囲は表面から50mm以内であった。

参考文献

1) 建設省土木研究所: 流動化処理土利用技術マニュアル、1997.12