

5. セメント系改良土の適正な配合・施工方法 について

5. セメント系改良土の適正な配合・施工方法について

5.1 配合・養生環境による強度発現傾向について

今回の配合試験結果により下記が確認された。

- 同じセメント配合量（湿潤重量比 2%）であっても、埋め戻し環境の違いにより発現強度の違いは最大 5 倍程度ある。

最も強度発現が良かったのは、case2 の「締固め度 90%、仮置き無し、空中 3 日水浸 4 日養生」（4 日以降は水浸養生）条件で、28 日強度は $qu=414.6 \text{ kPa}$ であった。

最も強度発現が悪かったのは、case9 「締固め度 80%、仮置き 1 日、空中 3 日水浸 4 日養生」で、28 日強度は $qu=85.9 \text{ kPa}$ であった。

- 配合強度は、仮置き期間が長いほど小さく、締固め度が低いほど小さい。

養生方法による違いは、仮置き期間が無く、十分に締固められている場合に現れ、配合初期に空中養生を行うと強度が高くなることが確認された。

締固めが悪いか、仮置き期間があった場合には、養生方法による強度発現の違いは相対的に小さくなった。

- 配合強度は、配合から 3 日目までに急激に強度が増加する

このため、仮置きしてから解きほぐすと、初期の強度増加した分が無くなり、その後の強度増加も小さくったと考えられる。強度の低下程度は仮置き期間が長いほど大きい。

- 締固め度が低いほど強度発現が悪くなる。

ただし仮置き無しと仮置き 1 日を比較すると、仮置き 1 日で締固め度 90%の方が、仮置き無しで締固め度 80%の場合より強度が小さくなる。

よって、仮置きの有無のほうが締固め度の違いより影響が大きいと考えられる。

表-5.1 締め固め度の違いと仮置き有無の違いによる強度比較

締め固め度		90	80
28日強度 (kN/m ²)	仮置き無し	307.1	248.0
	仮置き1日	220.2	91.9
	仮置き3日	189.9	—

締め固め度		90	80
28日強度 比	仮置き無し	1	0.81
	仮置き1日	0.72	0.30
	仮置き3日	0.62	—

□ そもそも目標強度が低いため、下水道管渠埋め戻しにおける種々の条件（施工環境）の影響を受けやすい。

下水道管渠埋め戻しにおいては、「2. 下水道管路施設埋め戻しへのセメント系改良土の適用基準の現状と問題点」でも述べたとおり、固化材の添加量は、液状化被害を防止するのに必要な強度及び樹・取付け管等の設置のための再掘削に支障が生じない範囲の強度を検討して定めることとしており、その添加量は概ね2～3%、添加量に換算して30 kg/m³程度と、通常的地盤改良における添加量（最低50 kg/m³）と比較すると極めて少ない。言い換えれば、必要最低限の強度を得るために添加量をぎりぎりのところで抑えていることになる。

これにさらに、地下水や締固め、仮置き等の負の影響による大幅な強度低下が加わることで、即座に「固化しない」状況になると考えられる。

5.2 セメント系改良土の適正な配合・施工方法について

最適強度が得られる配合条件は、「仮置き無し、締固め度 90%、空中 3 日水浸 4 日養生」であった。これは一般的な配合試験の実施条件にあたる。ただし、今回の配合試験の結果、同じセメント配合量でも、配合条件によっては、強度は最適配合時の 1/5 しか得られない場合があることが確認された。このため、セメント系改良土の配合・施工方法については下記について注意が必要である。

(1) 室内配合試験における留意点

□ 現場施工条件に合わせた配合試験を行うことが重要である。

【解説】

今回の試験結果より、一定セメント配合量を想定した場合、「仮置き無し、締固め度 90%、空中 3 日水浸 4 日養生」による試験値が最も強度が高くなった。

28 日強度が最も低かった条件は「仮置き 1 日、締固め度 80%、空中 3 日水浸 4 日養生」で、最適配合条件の 21%の強度しか得られなかった。

また、「全水浸養生」では、「空中 3 日水浸 4 日養生」と比較して 76%しか強度が期待できない。

施工条件によっては、改良土が現場打設後すぐに地下水で飽和する可能性もあり、期待される強度が得られない可能性がある。可能な範囲で、試掘等により地下水の影響や仮置き期間の発生の有無、締め固め度の確保が可能なかを把握するとともに、改良を行う土を用いて室内配合試験を行うことが望ましい。

プラント条件等によってどうしても現場条件と配合試験条件が異なる場合には、現場条件を考慮した配合試験を行うことが必要と考えられる。

図-5.1 に、適切なセメント添加量を定める配合試験実施までのフローを示す。

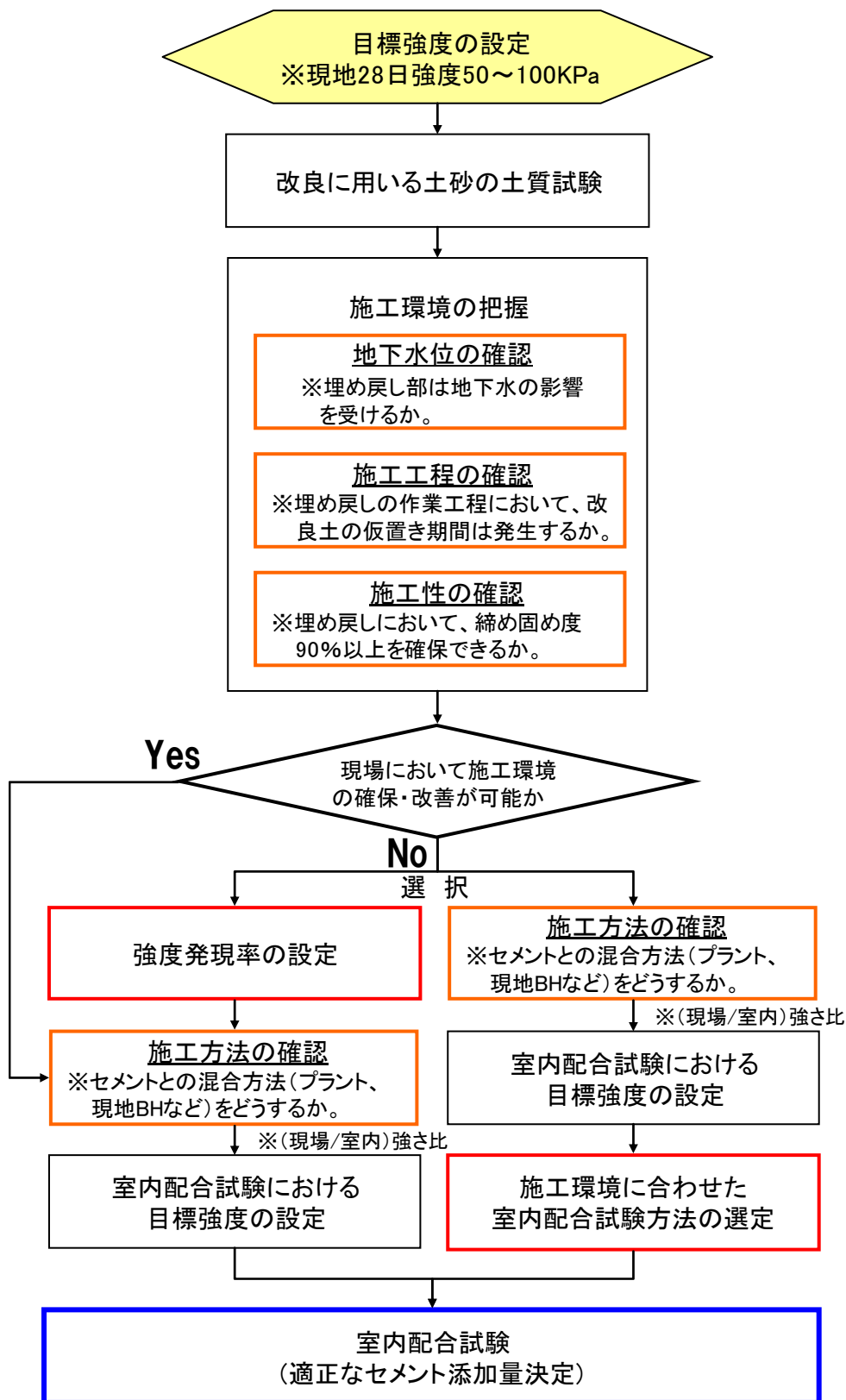


図-5.1 配合試験実施までのフロー

□ 可能な限り仮置き期間を無くすことが望ましい。

【解説】

締固め度 90%で、仮置き無しと仮置き有りを比較すると、仮置き 1 日では仮置き無し時の 70%、仮置き 3 日では 60%しか強度が得られなかった。締固め度 80%ではさらに顕著で、仮置き 1 日では仮置き無しの 37%しか強度が得られなかった。

つまり、締固めを十分行っても、仮置きを行うことにより発現強度が大きく低下することから、仮置きを極力なくす必要がある。

また、表-4.12 に示したように、締固め度 90%で仮置き 1 日より、締固め度 80%で仮置き無しの方が高い強度を得た。これはセメント配合後 3 日間に生じる水和反応による強度が最終強度に非常に大きな影響を与えているためである。通常、室内配合試験は仮置きをしないで行うため、現場で仮置きを行うと、目標とする強度が得られなくなる可能性があり、また仮置き期間が長いほど期待される強度が得られなくなる。

製造した埋め戻し土をしばらく仮置きする必要がある場合は、解きほぐしの影響により強度が低下することを踏まえ、想定される仮置きと解きほぐしの過程を考慮した試験練り（図-5.2 参照）を行い、配合を決める必要がある。プラント製造であればプラントの協力を得て、改良土使用当日に製造を依頼することが望ましい。

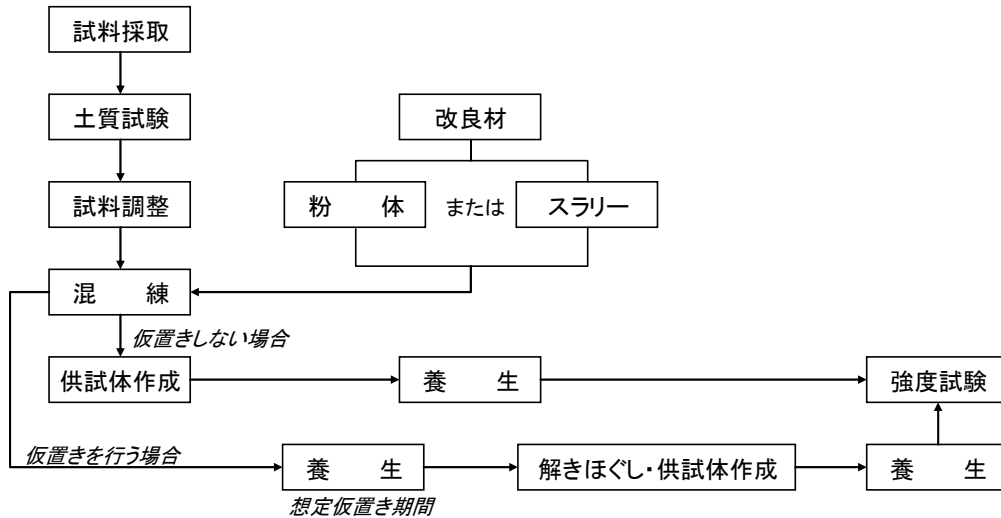


図-5.2 仮置き・解きほぐしを実施する場合の試験練りのフロー

なお、一般に、セメント系改良土よりも石灰系改良土の方が強度発現が緩慢であり、長期仮置きをした場合の強度低下の割合が小さく、また、一旦固化した改良土の破碎後の再固化性に優れる。このため、長期仮置きが想定される場合には石灰系改良土が用いられることが多い。

□ 現場では確実に 90%以上の締固めを行わなければ、配合設計通りの強度を得ることは難しい。

【解説】

締固め度が不十分な場合（締固め度 80%）、十分締固めた場合（締固め度 90%）と比較して 42%～56%の強度しか得られなかった。よって、現場において十分な強度を得るには、現場における締固めを十分に行う必要がある。ただし、現地における施工環境等により所定の締固め度を得ることが困難な場合は、現地の状況を考慮した室内配合試験を行うことも考えられる。

□ 地下水の影響を受けることにより、空中養生期間（打設後不飽和条件となる期間）を設けられない場合には、配合試験条件を全水浸条件にて行う必要がある（空中養生期間がないと標準的な配合試験で期待される強度が得られない可能性がある）

【解説】

室内配合試験通りの強度を確実に得るには、現場における施工条件として、空中養生期間を確保することが必要である。しかしながら、下水道管渠施工においては、地下水の影響を受けやすいことから、空中養生期間が設けることが困難な場合がある。この場合は、配合試験における養生を全水浸にて行う必要がある。

(2) 施工上の留意点

埋め戻し土の現場施工上の留意点として特に注意すべき事項として整理すると下記が考えられる。

□ 配合土は仮置き期間を作らず、プラント配合後、速やかに現場打設を行わねばならない。(仮置き期間は可能な限り無しとする。)

【解説】

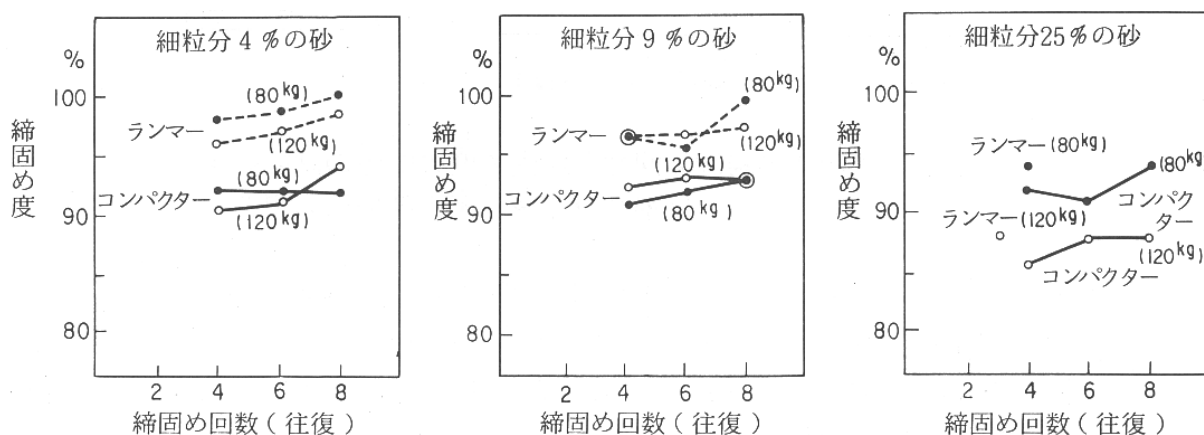
仮置きによる発現強度の低下を防ぐために、プラントで製造し、現場搬入する施工を実施する際には、適切なタイミングで出荷指示を出す等、製造から埋め戻しまでの時間が極力短くなるよう努める必要がある。

□ 締固めを確実にを行うため、1層当たりの打設層厚を少なくし確実な転圧を行う。(確実に締固め度 90%以上を確保する。)

【解説】

埋め戻し土の締固めを実施する際の施工管理に関しては、以下の点について留意する必要がある。

- ① 埋め戻し土のまきだし厚さまたは仕上がり厚さについては、例えばまきだし厚さ 20cm/層等のように明確に定めて実施する。管理は、立会や現場写真等で行う。
- ② 各層は、締固め箇所に適した機材(たこ、プレート、ランマ等)により十分締固める。転圧回数は、試験施工により定めるのが望ましいが、これによらない場合は、「下水道用硬質塩化ビニル管道路埋設指針、国土開発技術センター」(図-5.3 参照)等を参考に3回程度以上は転圧を行う。



備考：1. 締固め回数とは、締固め面における機具の通過回数をいう。

図-5.3 締固め回数と締固め度の関係

出典：「下水道用硬質塩化ビニル管道路埋設指針」(財)国土開発技術研究センター

- ③ 最適な含水比を確保するため、地下水の量に応じた排水（ポンプ排水等）を行う。
- ④ 現場での締固めの管理は、即時性のある試験方法を採用することが望ましい。一例として常設作業帯が確保可能であれば、路盤工・舗装仮復旧前に、スウェーデン式サウンディング試験を実施し、現地における一軸圧縮強度を確認することも考えられる。それによらない場合は、現場密度試験等を採用する。
- ⑤ 現場での品質管理の頻度は、即時性のある試験であれば各層毎に延長方向で数カ所実施する。一方、それによらない場合は、深さ方向に2箇所（管周りと埋め戻し部）、延長方向に1箇所程度とする。

□ 確実な締固めを行うためにも埋め戻し時には確実に地下水を揚水してドライワークを確保する。これにより初期の空中養生期間がとれ、施工性が向上し（転圧による締め固めが容易となり）、より強度が期待できる。

【解説】

現地の地下水位が高いと想定される場合は、試験練り時に現地の条件を考慮した養生方法に留意するほか、現場における地下水の排水を確実に実施することが重要である。

よって、湧水が多い、あるいは地下水位が高い場合は、矢板等を適切に設置し水の流入や地山の崩壊を防止するとともに、地下水の量に応じた排水を適切に実施する必要がある。

5.3 配合条件による強度発現率について（試算）

今回の試験結果に基づいて、「仮置き期間」「締固め度」「養生方法」による強度発現率を算出する。

なお、下記に示す条件係数は、本試験に用いた試料より想定したものであり、土質が大きく変わる場合は、別途、確認が必要である。

仮置き条件係数

「仮置き無し」・・・1倍

「仮置き1日」・・・0.7倍

「仮置き3日」・・・0.6倍

(case1とcase3の比較、case1とcase4の比較より)

締固め条件係数

「締固め度90%以上」・・・1倍

「締固め度90%以下」かつ「仮置き無し」・・・0.75倍

「締固め度90%以下」かつ「仮置き1日」・・・0.4倍

(case1とcase5の比較と、case3とcase7、case8とcase9の比較より)

養生方法条件係数

「空中3日水中4日養生」&「仮置き無し」&「締固め90%以上」・・・1倍

その他条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・0.75倍

(case1とcase2の比較より)

なお、上記の①～③の条件係数を用いた強度発現率の計算式は式1に示す通りである。

$$\text{強度発現率 (\%)} = \text{仮置き係数} \times \text{締め固め係数} \times \text{養生係数} \times 100$$

以上の条件で試験条件による強度比を試算し、試験値と計算値を比較すると表-5.2となる。

この結果をみると、試験値による強度比と、計算上の強度比が概ね一致するものとなる。

表-5.2 試験から得た強度発現率値と計算値

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	備考
仮置き条件	無し	無し	1日	3日	無し	無し	1日	1日	1日	
締固め条件	90%	90%	90%	90%	80%	80%	80%	90%	80%	
養生条件	全水浸	空3水4	全水浸	全水浸	全水浸	空3水4	全水浸	空3水4	空3水4	
28日強度 (kPa)	307.1	414.6	220.2	189.9	248.0	231.5	91.9	206.9	85.9	
試験による強度比	0.74	1.00	0.53	0.46	0.60	0.56	0.22	0.50	0.21	case2を1とした
仮置き条件	1	1	0.7	0.6	1	1	0.7	0.7	0.7	
締固め条件	1	1	1	1	0.75	0.75	0.4	1	0.4	
養生条件	0.75	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
計算上の強度比	0.75	1.00	0.53	0.45	0.56	0.56	0.21	0.53	0.21	case2を1とした

※上記の条件係数は、本試験に用いた試料より想定したものであり、土質が大きく変わる場合は、別途、確認が必要である。

5.4 配合強度の時間変化に基づく最終強度の推定（試算）

今回の配合試験結果より得られた配合強度の時間変化を用いて、

①セメント配合日からの経過日数と配合強度

②締固め日からの経過日数と配合強度

の関係を整理し、最終強度の予測を試算した。

最終強度予測手法は、一般的に盛土の沈下観測結果より最終沈下量を予測する双曲線法による予測を配合強度曲線に適用した（図-5.4 参照）。

なお、双曲線法は、時間-沈下曲線について、沈下の平均速度が双曲線に沿って減少していくことを仮定し、この仮定から載荷後の任意の時点における沈下量を次式により推定するものである

$$S_t = S_0 + \frac{t}{\alpha + \beta \cdot t}$$

S_t : 時間 t 時の沈下量 (cm)

S_0 : 初期沈下量 ($t = 0$) (cm)

t : 起点日よりの経過時間 (day)

α, β : 実測値から得られる常数 (図-5.4 参照)

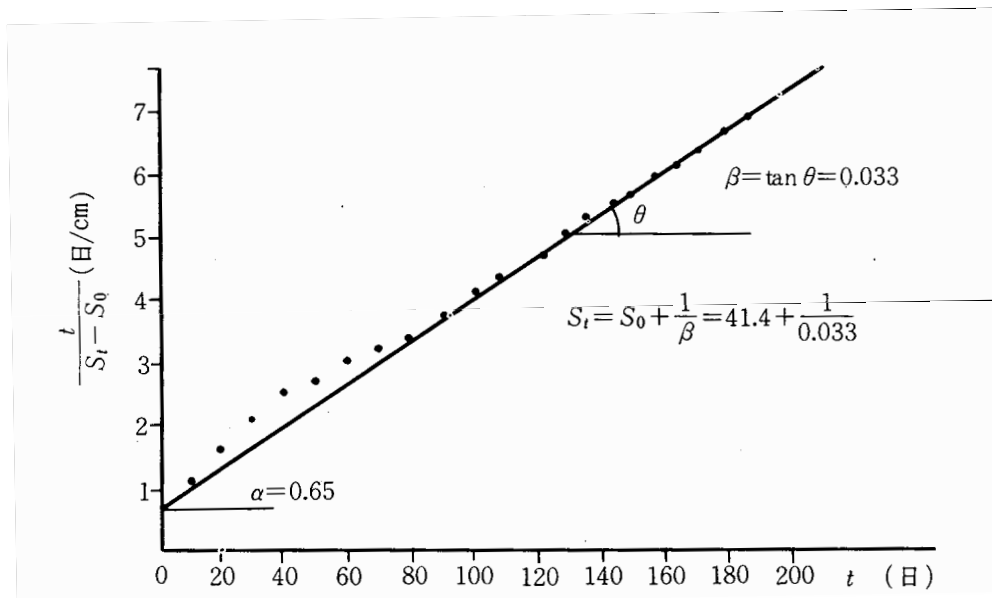


図-5.4 双曲線法による沈下量の推定

なおここでは、図中の (t 時の沈下量 S_t) を (t 時の配合強度 q_u-t)、(0 時の沈下量 S_0) を (配合強度 $q_u-0=0$) として検討した。

また、図中の t については、**検討①**では配合日を 0 とした経過日数、**検討②**では締固め日を 0 とした経過日数と見なした。また、配合初期のバラツキを除外するため、7日強度以降の配合強度を対象とした。最終強度計算結果を図-5.5 (各ケース毎の計算結果は巻末資料に示す) に、最終強度予測計算表を表-5.3 に示す。

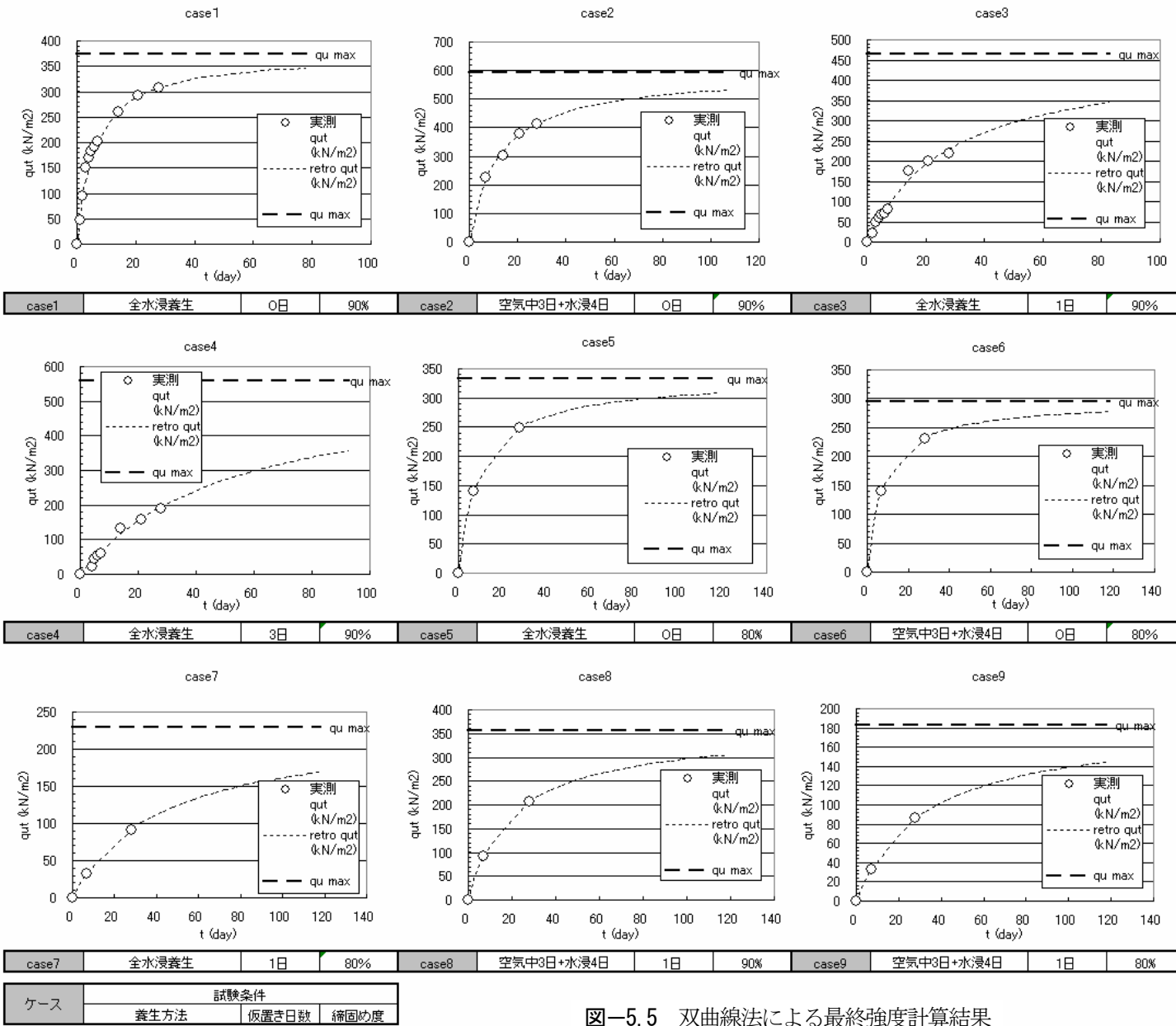


図-5.5 双曲線法による最終強度計算結果

結果を見ると、最終強度予測値の強度順位と、28日強度の順位が異なるものとなった。これは、データ数の違いによる影響が大きいと見られ、今後のデータ補完が必要と考えられる。

配合日を0とした場合と、締固め日を0とした場合で比較すると、締固め日を0と見なして最終強度を求めたほうが強度比のバラツキが小さいことがわかる。したがって、最終強度は、配合日からの経過日数ではなく、締固め日からの経過日数との相関性が高いといえる。

締固め日を0と見なしたときの予測最終強度と、実測の28日強度の比を見ると、最終強度は28日強度の1.23～2.05倍（7日強度の1.90～5.74倍）と予測された。

ここで、下水道施設の耐震対策指針と解説では、「セメント等固化材の添加量は、現地における平均一軸圧縮強度（28日強度）として50～100kPaを確保すればよく」とされているが、先の最終強度予測値に基づく28日強度比を考慮すると、室内配合試験における目標強度を100kPaとした場合に、最終強度が100を越えるケースが生じると考えられる。1.2倍増し程度であればさしたる問題はないと考えるが、2倍増しとなると再掘削時に若干の影響があることも考えられる。

また、新潟県の改良土プラントに対するヒアリングでは、災害復旧工事ということもあり7日強度として50～100kPaを確保するとして室内配合試験を実施していた。この場合、先の検討結果では7日強度比1.90～5.74倍となっており、想定以上の強度が発現している可能性もある。

なお、双曲線法による予測では、予測期間中に強度発現機構に変化がないことが前提になるが、実際には早期強度に寄与する反応と、遅延強度に寄与する反応が異なると考えられるため、この予測手法が最終強度予測に適用できるかについては、28日以降の試験結果により最終強度を確認し、検証することが必要と考えられる。

5.5 特記仕様書（案）

下水道管渠埋め戻しにセメント系改良土を使用する場合に、特記仕様書に明示すべきと考えられる事項を整理する。

下水道管渠の埋め戻し工において用いられる標準的な共通仕様書は、発刊の下水道土木工事必携（案）（（財）下水道新技術推進機構）の中にある下水道土木工事共通仕様書（案）によると以下の通りである。

（管路埋戻）

9. 請負者は、埋戻し材料について、良質な土砂又は設計図書で指定されたもので監督職員の承諾を得たものを使用しなければならない。
10. 請負者は、埋戻し作業にあたり、管が移動したり破損したりするような荷重や衝撃を与えないよう注意しなければならない。
11. 請負者は、埋戻しの施工にあたり、管の両側より同時に埋戻し、管渠その他の構造物の側面に空隙を生じないように十分突固めなければならない。また、管の周辺及び管頂 30 センチまでは特に注意して施工しなければならない。
12. 請負者は、埋戻しを施工するにあたり、設計図書に基づき、各層所定の厚さ毎に両側の埋戻し高さが均等になるように、必ず人力及びタンパ等により十分締固めなければならない。また、一層の仕上がり厚は、30 cm以下を基本とし埋戻さなければならない。

上記の共通仕様書（案）は、通常の埋め戻しを想定したものであり、セメント系改良土の使用においては、前述の調査結果等に基づいた適正な記述が求められる。

改良土の強度を確実に得るためには、①事前の確認（室内配合試験）、②適切な施工（施工管理）、③事後の確認（品質確認）が重要と考えられる。よって、施工に関わる特記事項としては、下記を追加することが必要と考えられる

【特記仕様書に追加すべき事項】

- 1) 場条件に応じた適切な室内配合試験が実施されているか確認すること。
- 2) 埋め戻し土の締固め度は90%以上を原則とすること。
- 3) プラント工場において配合した改良土を用いる場合には、固化材配合後速やかに埋め戻し及び締固めを行わなければならない。プラント配合後の仮置き期間は原則として1日以内とすること。
- 4) 埋め戻し後の一軸圧縮試験を実施すること。

上記の事項を考慮し、特記仕様書（案）を作成すると次の通りとなる。

下水道管渠埋め戻しにセメント系改良土を用いる場合の特記仕様書（案）

（管路埋戻）

- . 請負者は、埋め戻しに用いる改良土について、設計図書で指定されたもので監督職員の承諾を得たものを使用しなければならない。
- . 請負者は、埋め戻しの施工にあたり、事前室内配合試験計画書を作成し、監督職員と協議の上、室内配合試験を実施するものとする。埋め戻し材料について配合試験と一軸圧縮試験を実施するものとし、目標強度を確認しこの結果を監督職員に報告しなければならない。また、締め固め後に埋め戻し土の一軸圧縮強度を確認しこの結果を監督職員に報告しなければならない。
- . 請負者は、埋め戻し土の締め固め度が 90%以上となるよう十分締め固めなければならない。また、締め固め後に締め固め度を確認しこの結果を監督職員に報告しなければならない。
- . 請負者は、埋戻しを施工するにあたり、設計図書に基づき、各層所定の厚さ毎に両側の埋戻し高さが均等になるように、必ず人力及びタンパ等により十分締め固めなければならない。また、一層の仕上がり厚は、20 cm以下を基本とし埋戻さなければならない。
- . 請負者は、「セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験要領（案）」（国土交通省）に基づき事前の調査を十分に行い、安全かつ適正な施工を行わなければならない。なお、必要に応じて事後調査も実施しなければならない。
- . 請負者は、改良土の施工管理方法・品質管理方法は監督職員と十分に協議を行い、改良土施工計画書を作成すること。

また、セメント系改良土には、現場混合とプラント混合があるが、プラント混合の場合には配合した改良土の施工現場までの運搬やプラント工場での作りだめ等の仮置きに相当する時間的ロスが発生する可能性が高いため、下記を追加する必要があると考えられる。

（プラント混合による改良土埋め戻し）

- . プラント工場において配合した改良土を用いる場合には、固化材配合後速やかに埋め戻し及び締め固めを行わなければならない。また、プラント配合後の仮置き期間は原則として6時間以内とし、それ以上の仮置き期間が発生することが予め予想される場合は、仮置き期間を考慮した室内配合試験を行わなければならない。

ここで、仮置き期間を6時間以内としたのは下記の理由による。

- 1) 本報告書 4.3 の試験結果より、セメント配合と仮置き時間が長いほど最終強度は小さくなり、また、セメント配合後 6～24 時間の発現強度が最終強度に与える影響が大きいことが明らかとなった。このためセメント配合土は、配合後できるだけ速やかに埋め戻すことが望ましく、少なくともセメント配合による改良効果が大きく落ち始める6時間を超えないことを目標とすることが妥当と考えられる。
- 2) 通常の1日作業時間を8時間とし、配合した改良土を翌日に持ち越さないこととした。

5.6 施工管理方法

セメント系改良土による埋戻しによる液状化対策には下記の基準が示されている。

- ・現場強度は一軸圧縮強さ 50～100KN/m²以上とする
 - ・室内強度は一軸圧縮強さ 100～200KN/m²以上とする
- (なお、強度を高く設定しすぎると、施工後の掘削が困難となる。)

今回の調査試験結果により、同じ固化材配合量でも施工条件による発現強度が著しく変わることが確認された。このため、必要な改良効果を期待するためにはセメント配合量の管理のみでは不十分であり、施工管理が重要であることがわかった。

ここでは、セメント系改良土の施工管理基準の実状と望まれる具体的な施工管理方法について述べる。

5.6.1 施工・品質管理基準の実態調査

現行の施工及び品質管理の実態調査として、品質管理規定を実施している自治体及び近年の震災復旧を行った自治体を対象に、下水道管渠の埋戻し土の品質管理手法に関する実状を把握するためのアンケート調査を実施した（平成 18 年度実施）。

本調査を行った自治体の抽出に当たっては、平成 12 年度に独立行政法人土木研究所にて実施された「下水道管路の埋戻し施工実態に関する調査（土木研究所資料第 3701 号）」におけるアンケート結果等を参考に、埋戻しの品質規定に関してある程度方針を持っていると考えられる自治体及び近年に震災復旧を行ったと考えられる自治体について行った。

（1）実態調査項目

各自治体における下水道管渠の埋戻し施工に関する実状（現場施工条件による施工方法毎の課題、品質確認方法・結果・課題、等）を把握するために、管周り部（管上方 30cm 程度）と埋戻し部（管上方 30cm～路盤下まで）に分けて、以下の項目について実態調査を行った。

【アンケート項目】

【埋戻し材料に関する調査】

- ・材料規定の有無、材料試験の有無、材料試験項目
- ・道路管理者からの指導の有無

【埋戻し施工方法に関する調査】

- ・締固め施工時における留意事項・効率化についての考え方
- ・地下水位が高い場合の施工方法
- ・周辺地盤が液状化の恐れがある場合の施工方法
- ・路線・管種・管径毎の施工法の区分の有無
- ・他企業埋設管近接による締固め困難時の別途考慮事項
- ・矢板引抜き・撤去等での留意事項
- ・道路管理者からの指導の有無
- ・締固め施工における問題点・今後の課題

【 埋戻し土の締固めにおける品質管理規定に関する調査 】

- ・ 品質管理方法についての取り決めの有無
- ・ 品質管理を行う上での試験方法
- ・ 試験位置・深さの選定についての考え方
- ・ 試験時に使用する器具、試験頻度、試験の合格基準・根拠
- ・ 締固め施工の効率化のための合理的な試験方法
- ・ 品質管理規定を適合した場合での不合格の割合、その原因、具体的対応
- ・ 品質確認試験が行えない特殊な現場条件の有無・対処法
- ・ 布設箇所での管理内容の変更の有無
- ・ 品質管理規定の管理上の問題点、今後の課題
- ・ 品質確認試験 1 箇所当りの費用、材料費及びm当り布設工事費

【 今後の取組方針・課題等に関する調査 】

- ・ 地震による管渠、マンホール等の被害軽減のために掲げている取組方針・課題
- ・ 地震による管渠、マンホールの浮上りが発生した場合の対処方法
- ・ 耐震施工を採用するに当たっての取組方針・課題等

(2) 調査結果

各自治体からのアンケート回答結果を整理すると以下の通りとなる。

【埋戻し材料に関する調査結果】

- ① 材料に関する規定は、一般的な参考図書や各自治体で制定されたりサイクル検討書など自治体毎に異なる。
- ② 1m³ 当りに添加するセメント量等も統一されていないのが実状である。
- ③ 道路管理者より具体的な指導を受けることは少ないようである。

本項目に対する各自治体の回答を表-5.4 に示す。

表-5.4 埋戻し材料に関する回答

	材料規定の有無	道路管理者からの指導の有無			材料試験の有無、試験項目
		国道	県道	市町道	
A市	<ul style="list-style-type: none"> セメント量は、「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」を基に、50kg/m³を最低セメント量とする。 改良土の品質管理は、「セメント改良土積算基準の改定について（通知）」に基づき管理する。 	特に無し	特に無し	特に無し	<ul style="list-style-type: none"> 土の締固め試験 土の粒度試験 土粒子の密度試験 土の含水比試験 土の液性限界・塑性限界試験 土の一軸圧縮試験 六価クロム溶出試験
B町	一軸圧縮強度 100~200 kPa、砂（購入） 1.0m ³ に対して高炉セメント 50kg	無し	無し	無し	
C市	塩ビ管を使用する場合は、粒径 20mm 以上の礫を含まない	原則、埋戻し材料は、機械ズリ以上として使用する。	冬期間（11月1日~3月31日）における埋戻しは、氷、雪の混入がないようにし、骨材は全面入れ替える。	冬期間（11月~3月）における埋戻しは、氷、雪の混入がないようにし、骨材は全面入れ替える。	
D市	<ul style="list-style-type: none"> 発生土：最大粒径 40mm 改良土：建設発生土リサイクル検討書による土質改良を行う 	砂（浜砂）、切込み砂利、又は良質の土砂等と入れ替えて埋め戻すこと。ただし、出張所長が掘削土を良質と認めるときは、その一部を埋め戻しに使用することができる。	掘削土砂が、路床土として適当でないものがあるときは、切込砂利又は良質の土砂と置換えて、埋め戻すこと。	特に無し	有り
E市	最大粒径 20mm 以下 74 μ m ふるい通過重量率が 10% 以下とする。	特に無し	特に無し	特に無し	<ul style="list-style-type: none"> 土の粒度試験 CBR 試験 土の含水比試験 土の液性限界、塑性限界試験 締固めた土のコーン指数試験 腐食性土壌の測定・評価法 土の一軸圧縮試験 六価クロム溶出試験
F市	【土質区分】 砂又は砂質土、礫質土 【最大粒径】 40mm 以下 【75μm ふるい通過百分率】 25% 以下 【設計 CBR】 8% 以上	特に無し	特に無し	特に無し	無し
G市	【最大粒径】 20mm 以下 or 75mm 以下 【建設発生土】 （第1種及び第2種建設発生土）→1.0m ³ に対して、高炉セメント B を 20kg 攪拌混合する（災害復旧時プラント実績）なお、現在は一軸圧縮強度を満たす配合にて混合 【一軸圧縮強度】 100 kPa 以上（28 日）→配合試験 50 kPa 以上（28 日）→現場強度 【設計 CBR】 8% 以上	無し	設計 CBR 8% 以上	設計 CBR 8% 以上	<ul style="list-style-type: none"> 設計 CBR 試験 土の粒度試験 六価クロム溶出試験 土の突固め試験 一軸圧縮試験

【埋戻し施工方法に関する調査結果】

- ① 管基礎部は管渠に衝撃を与えないように注意しながら、人力・掘削機械等により、管の両側から木蛸等で締固めている。一方、管上方 30cm～路盤下までは路床(20cm 以下)、路体(30cm 以下)を基本としてタンパ等で締固めている。
- ② 地下水位が高い場合は、施工前に水中ポンプ等で排水するが、水替えが十分に行われない場合は、地下水低下工法(釜場排水、ウェルポイント、等)を適用している。また、推進工法や沈理工法等の別工法で施工している事例もある。
- ③ 周辺地盤が液状化の恐れがある場合は、施工前に排水、地下水の高さまでセメント改良土の使用、等で対応しているようである。また、掘削が困難と判断して、他工法(推進工法、沈理工法)にて施工している自治体もあった。
- ④ 矢板を引抜いた後の空隙は、砂等で充填して十分に締固めている状況である。
 - 層状転圧毎に段階的に矢板を引抜く。
 - 地上より 0.5m程度まで埋戻し・転圧した後、矢板を1枚飛びに引抜きながら締固め(水締め)を行っている。
- ⑤ 施工に関する問題点・課題について
 - 一度掘り返すと、しっかり転圧を行った場合でも、時間が経つにつれ路面の沈下が発生してしまう。
 - 管周りや既設埋設物等周辺は木蛸による転圧としているが、機械転圧のように十分な転圧を行うのが困難である。
 - 日々埋戻しを行っているため、各層毎に試験を行うことが困難であり、層状転圧の施工管理が難しい。
 - 布設した管渠への影響を考えすぎて、転圧が甘くなっている場合がある。
 - 撒き出しによる締固めに時間を要するため、工事の進捗に影響がある。
 - 改良土を使用する場合は、降雨や積雪により品質を低下させないような配慮が必要である。

本項目に対する各自治体の回答を表-5.5 に示す。

表-5.5 埋戻し施工方法に関する回答

各種課題		各自治体からの回答内容（対処・懸案事項）
①	地下水位が高い場合での施工	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水位低下工法及び釜場排水等の補助工法を併用して施工 ・改良土を使用する場合は、改良土がある程度凝固するまで地下水位を低下 ・推進工法及び沈埋工法等の別工法を選定 ・基礎砂下部に砕石を敷設 ・地下水位の出水状況や必要条件により適切な工法を選択し、施工面をドライに保つ ・水中ポンプで排水しながら施工 ・漏水及び雨水等により掘削面が乱されることがないように掘削面外周部に排水溝を設置
②	周辺地盤が液状化の恐れがある場合での施工	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水位の高さまでセメント改良土にて埋め戻し ・施工前に排水し、液状化が生じにくい材料を使用し埋め戻し ・推進工法及び沈埋工法等の別工法を選定
③	他企業埋設管近傍による締固め困難時での施工	<ul style="list-style-type: none"> ・離隔を十分考慮し又移設等を行うため施工方法は別途考慮せず ・他企業（地下埋設物管理者）と協議を実施 ・地下埋設物管理者の立会いの上で、確実な防護工を行い慎重に埋め戻し ・特殊条件であれば監督員及び地下埋設物管理者の指示に従う ・人力により埋戻土を投入・敷均し、足踏みまたは木蛸、水締めにより入念な締固めを行う ・移設または法線変更により対応 ・掘削溝内に埋設物がある場合、埋設物管理者との協議に基き防護を施し、埋設物付近の埋戻土が将来沈下しないようにする ・矢板等の存置を検討 ・地下埋設物管理者・道路管理者等と協議し、埋め戻し方法を決定
④	矢板引抜き・撤去等での留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺地盤の状況の変化に注意しながら、引抜き・撤去を行う ・簡易軽量土留めの際、埋戻層毎に引抜き埋戻しを行う ・層状転圧毎に矢板を引抜く ・矢板引抜き後の空隙には、直ちに砂または土砂を充填し水締め等で完全に充填する ・埋戻土が十分に締固められた後、左右交互に引抜きを行い、引上げによる空隙は良質山砂で充填して締固める ・地上より0.5m程度まで埋戻・転圧を完了後、矢板を1枚飛びに引抜きながら締固めを行う ・GL-1.20mの位置でゆっくりと矢板を引抜き、矢板裏の土の崩壊に留意する
⑤	埋戻し施工時での問題点・課題	<ul style="list-style-type: none"> ・一度掘り返すと、十分転圧を行っても時間が経つにつれ路面の沈下が発生する傾向がある ・管周りや既設埋設物等の周辺は木蛸による転圧としているが、機械転圧のように十分な転圧を行うことが困難 ・日々埋戻しを行っているため、各層毎の試験、層状転圧の施工管理を行うことが困難 ・布設した管への影響を考えすぎて、転圧が甘くなっている場合がある ・撒き出しによる締固めに時間を要するため、工事の進捗に影響がある ・改良土を使用する場合は、降雨や積雪により品質を低下させないように配慮する必要がある

【埋戻し土の締固めにおける品質管理規定に関する調査結果】

- ① 管周りでは試験を行っていない自治体が大半であるが、中には現場密度試験 (JIS A 1214)、一軸圧縮試験 (JIS A 1216) 及び六価クロム溶出試験を行っている (試験位置は、自治体によってまちまち)。
- 試験の頻度:掘削土量:500m³ 当りに1箇所、人孔間につき1箇所
 - 試験の合格基準:締固め度:90%以上 (現場密度試験)、1.0kgf/c m² (一軸圧縮試験)以上の確保を目標
- ② 管上方 30cm～路盤下における試験は以下の回答があった。
- 試験内容:現場密度試験 (JIS A 1214)、一軸圧縮試験 (JIS A 1216)、六価クロム溶出試験、土研式貫入試験、RIなど
 - 試験位置:人孔間のランダムな1～2点、掘削深の 1/2、敷均し厚さ 30cm 毎、埋戻し土の最上部、監督員との協議、具体的な位置なし、等と自治体によってまちまちである。
 - 試験頻度:掘削土量:500m³ (1,000m³) 当りに1箇所、布設延長:500m当りに1箇所、人孔間につき1箇所、1回当りの測定点数5点 (RI使用)、1工事につき3箇所、等と自治体によってまちまちである。
 - 合格基準:締固め度:90%以上 (現場密度試験)、1.0kgf/c m² (一軸圧縮試験)以上、最大乾燥密度:90%以上 (RI)の確保を目標

本項目に対する各自治体の回答を表-5.6 に示す。

表-5.6 (1) 埋戻し土の締固めにおける品質管理規定に関する回答 (管周り)

	①品質管理方法についての取決めの有無	②品質管理を行う上での試験方法	③試験位置・深さの選定についての考え方	④試験時に使用する器具	⑤試験を行う頻度	⑥試験の合格 基準・根拠
A市	セメント改良土仕様書	<ul style="list-style-type: none"> 現場密度試験 一軸圧縮強度試験 六価クロム溶出試験 	<p>【平面位置】人孔間のうちランダムな位置から1点</p> <p>【深さ】管基礎～路床部では掘削深方向で概ね1.0m間隔でランダム (管周り・管上の使い分けではなく人孔間で1点より採取。ただし基礎部で1工事最低1点採取する事。)</p>	鋼管及び塩ビ管の2割モールド	<ul style="list-style-type: none"> 人孔間につき1回 (1試料/2供試体) 室内試験で六価クロムの溶出量が土壌基準を超えない場合は、試験方法2 (施工後に実施する環境庁告示46号溶出試験) 及び3 (施工後に実施するタンクリーチング試験) は行わない。ただし、火山灰質粘性土を改良する場合は、試験方法2及び3を行う。 ※ 1工事で3回未満の場合、1工事3回以上。 	<ul style="list-style-type: none"> 最大乾燥密度の90%以上 (セメント改良土仕様書) 一軸圧縮強度 室内2kg f/cm²、現場1kg f/cm² (セメント改良土仕様書) 六価クロム溶出試験 (環境庁告示46号溶出試験による)
B町	基準にのっとり実施する。	一軸圧縮強度試験	人孔間でランダムに実施	塩ビ管モールド	人孔間につき1回	一軸圧縮強度試験にて1.0kg f/cm ² 以上
C市	<ul style="list-style-type: none"> 予め配合報告書を提出し監督員の承諾を受ける。 使用材料は材令7日において指定試験を満足しなければならない。また、この強度を確認するため一軸圧縮試験を行う。 	管周りについては、試験を実施せず				
D市		管周りについては、試験を実施せず				
E市		管周りについては、試験を実施せず				
F市	改良土特記仕様書 改良土プラント特記仕様書	管周りについては、試験を実施せず				
G町	セメント改良土仕様書	<ul style="list-style-type: none"> 現場密度試験 一軸圧縮強度試験 六価クロム溶出試験 	<p>【平面位置】人孔間の2点のうちランダムな位置から採取</p> <p>【横断位置】管基礎上部</p>	<ul style="list-style-type: none"> 半割鋼管 (φ50mm、H=130mm) とキャップ 半割塩ビ管 (φ50mm、H=130mm) とキャップ 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削土量500m³ 当りに1箇所 人孔間につき1回 (1試料/2供試体) 室内試験で六価クロムの溶出量が土壌基準を超えない場合は、試験方法2 (施工後に実施する環境庁告示46号溶出試験) 及び3 (施工後に実施するタンクリーチング試験) は行わない。ただし、火山灰質粘性土を改良する場合は、試験方法2及び3を行う。 ※ 1工事で3回未満の場合、1工事3回以上 	最大乾燥密度の90%以上

※下記項目については、「事例無し」「特になし」の回答であった。

- ⑦締固め施工の効率化のための合理的な試験方法
- ⑧品質管理規定を適合した場合の、不合格の割合、その原因、具体的対応
- ⑨品質確認試験が行えない特殊な現場条件の有無・対処法
- ⑩布設箇所での管理内容の変更の有無
- ⑪品質管理規定の管理上の問題点
- ⑫品質管理規定の管理上の今後の課題

表-5.6 (2) 埋戻し土の締固めにおける品質管理規定に関する回答 (管上方30cm～路盤下)

	①品質管理方法についての取決めの有無	②品質管理を行う上での試験方法	③試験位置・深さの選定についての考え方	④試験時に使用する器具	⑤試験を行う頻度	⑥試験の合格基準・根拠
A市	セメント改良土仕様書 発砲スチレン混合軽量土仕様書	・現場密度試験 ・一軸圧縮強度試験 ・六価クロム溶出試験	【平面位置】人孔間のうちランダムな位置から1点 【深さ】管基礎～路床部では掘削深方向で概ね1.0m間隔でランダム (管周り・管上の使い分けではなく人孔間で1点より採取。ただし基礎部で1工事最低1点採取する事。)	鋼管及び塩ビ管の2割モールド	・人孔間につき1回 (1試料/2供試体) ・室内試験で六価クロムの溶出量が土壌基準を超えない場合は、試験方法2 (施工後に実施する環境庁告示46号溶出試験) 及び3 (施工後に実施するタンクリーチング試験) は行わない。ただし、火山灰質粘性土を改良する場合は、試験方法2及び3を行う。 ※ 1工事で3回未満の場合、1工事3回以上。	・最大乾燥密度の90%以上 (セメント改良土仕様書) ・一軸圧縮強度 室内200kPa 現場100kPa (セメント改良土仕様書) ・六価クロム溶出試験
B町	基準にのっとり実施する。	一軸圧縮強度試験	人孔間でランダムに実施。	塩ビ管モールド	人孔間につき1回	一軸圧縮強度試験にて1.0 kN/m ² 以上
C市	・予め配合報告書を提出し監督員の承諾を受ける。 ・使用材料は材令7日において指定試験を満足しなければならない。また、この強度を確認するため一軸圧縮試験を行う。	一軸圧縮試験	監督員と協議して決定	一軸圧縮試験器	1工事につき1箇所	最大乾燥密度の90%以上
D市	貫入試験について：自主管理とする (全区間行うこと)。	土研式貫入試験法	全マンホール区間それぞれ1箇所	土木研究所式貫入試験機	全マンホール区間それぞれ1箇所	【判定基準】貫入量10cmに 対する打撃回数24回以上で 合格 (改訂下水道管渠施工ハンドブック (S61 発行))
E市	改良土特記仕様書 改良土プラント特記仕様書	・一軸圧縮試験 ・現場締固め密度試験	平均掘削深の1/2の位置で採取	半割塩ビ管 (φ50、H=130mm) とキャップ ※ 先端の10mmを削って尖らせたもの	・布設延長：L=500m当りに1箇所 ・最低3箇所	・一軸圧縮強度 50kPa以上 (28日) ・現場締固め密度90%以上 (改良土特記仕様書)
G町	セメント改良土仕様書	・現場密度試験 ・一軸圧縮強度試験 ・六価クロム溶出試験	【[平面位置]人孔間の2点のうちランダムな位置 【[横断位置]管基礎上部	・半割鋼管 (φ50、H=130mm) とキャップ ・半割塩ビ管 (φ50、H=130mm) とキャップ	・掘削土量500m ³ 当りに1箇所→JIS A 1214 ・人孔間につき1回 (1試料/2供試体) 室内試験で六価クロムの溶出量が土壌基準を超えない場合は、試験方法2 (施工後に実施する環境庁告示46号溶出試験) 及び3 (施工後に実施するタンクリーチング試験) は行わない。ただし、火山灰質粘性土を改良する場合は、試験方法2及び3を行う。 ※ 1工事で3回未満の場合は、1工事3回以上	最大乾燥密度の90%以上
H市	道路占用工事要綱	締固め度試験	敷きならし厚さ30cmごと	JIS A 1214に定める密度測定器	・1箇所当たり敷き均し厚0.3m毎 ・1工事につき5箇所以上、ただし工事が5日以上にまたがる時は1日1箇所以上	・締固め度90%以上

※下記項目については、「事例無し」「特になし」の回答であった。

⑦締固め施工の効率化のための合理的な試験方法、⑧品質管理規定を適合した場合の、不合格の割合、その原因、具体的対応、⑨品質確認試験が行えない特殊な現場条件の有無・対処法、⑩布設箇所での管理内容の変更の有無、⑪品質管理規定の管理上の問題点、⑫品質管理規定の管理上の今後の課題

【今後の取組方針・課題等に関する調査結果】

- ① 耐震化については、埋戻し材料として改良土(セメント系 or 石灰系を使用するかは各自治体の実情による)の使用、タンパや小型機械等により入念な転圧を行い締固め度90%以上を確保、止水可とう継手の使用、等の項目を、今後の取組方針・課題として掲げている。
- ② 耐震対策(液状化対策)として、現在計画を策定している状況であり、いずれの自治体も前向きに捉えているようである。
- ③ 地震による被害を受けなかった既設管についても、将来的に液状化対策を実施する必要があると考えられており、既設管全てに対して各種対策を行うには多大な費用と時間を要するため、対策に苦慮しているようである。

本項目に対する各自治体の回答を表-5.7に示す。

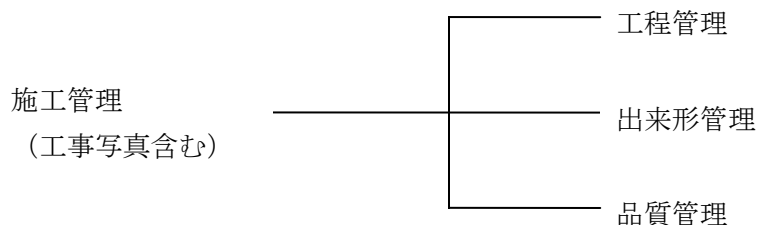
表-5.7 埋戻し材料に関する回答

自治体	①地震による下水道管、マンホール等の被害軽減のために掲げている取組方針・課題	②地震による下水道管、マンホール等の浮き上がりが発生した場合の対処方法	③耐震施工を採用するに当たっての取組方針・課題等
A市	現在耐震化計画を策定中である。	【過去の地震時の対応】 ・管渠の被災については、ポンプで仮排水を行う。又ポンプ排水が難しい箇所については、応急で仮管を埋設する。 ・人孔の浮上については、土嚢及び合材等で通行を確保。	【取組方針】 ・液状化の判定及び「十勝沖地震を踏まえた下水道施設の耐震対策の留意点について」を基にセメント改良土を使用し対策を講じている。
B町	新設及び災害復旧にて施設を構築する場合、耐震化の基準（下水道協会）とおりに実施する。	過去に実施した箇所で耐震化を行っていないところは、路線の重要度を勘案し耐震化を図る。	安価でその現場に適した工法を採用する。
C市	今後検討したい。	今後検討したい。	今後検討したい。
D市	現時点での、具体的な取組方針等は無し。	現時点での、具体的な取組方針等は無し。	現時点での、具体的な取組方針等は無し。
E市	現在検討中である。	・交通障害の解消対策 ・仮排水ポンプ、仮配管による応急対策 ・吸引車による応急対策	品質管理を行う上での試験方法・試験頻度について御教授願いたい。
F市	改良土の使用が有効的であると考えている。	バキューム等によるマンホール内・管路内滞水の汲み上げの早期対応、交通障害になる突出部の切断、陥没部の埋戻し、等が必要と思われる。	固化については、建設副産物の有効利用等も含めて、採用に向け準備中。
G市	・今後の新設工事には液状化対策（改良土、碎石による埋戻し）を実施する。 ・液状化対策を有効とするためには道路全体で液状化に強い構造にするよう取り組む必要がある。 ・地震による被害を受けなかった既設管についても液状化対策を実施する必要があるが、既設管全てに各種対策を行うためには多大な費用と時間が必要となるため、対応に苦慮している（マンホール周囲の過剰間隙水圧の消散、既設埋戻土の安定処理等）。	・支障物件の撤去（マンホール切下げ） ・陥没箇所の埋戻し ・使用不能箇所の仮設管設置 ・被災情報及び応急工事の記録 ・下水道使用制限の呼び掛け	・建設発生土の再利用も視野に入れ、可能な限り固化を採用する。 ・既設管路に対してこれらの耐震施工を行うためには、再掘削もしくは既設埋戻土の安定処理等の必要があり、発生土の処理や多額の費用など多くの課題が存在し、対応が難しい。
H町	現在行っている対策と同様に液状化が発生しない材料を使用し埋め戻しを行う。	被災路線の汚水排水ルート確保及び早急な補修。	・固化については現在の方針に基づき選定。 ・締固めは施工時に転圧を十分に行うよう指示の徹底。

5.6.2 施工管理方法

下水道土木工事の施工においては、契約図書に定められた工期、工事目的物の出来形及び品質の確保を図るため、施工管理規定（施工管理基準及び規格値）が設けられている。

一般に施工管理は、「工程管理」、「出来形管理」、「品質管理」の3つで構成される。



セメント系改良土の埋め戻しにおいては、5.5 特記仕様書（案）で述べた通り、事前の確認（室内配合試験）、適切な施工（施工管理）、事後の確認（品質確認）の各時点でのチェックが重要と考えられる。

特に重要視されるのは、施工現場において所定の強度（配合試験における目標強度）を得ることであり、すなわち品質管理が重要であると考えられる。

また、既に述べているとおり、強度発現は締め固めや地下水排除などの施工条件と深い関わりを持つことから、土木共通仕様書や特記仕様書に規定されている事項が遵守されていることを監督（確認）することも重要と考える。

ここでは、セメント系改良土の施工管理においてチェックすべき事項を取りまとめることとする。

（1）品質管理

セメント系改良土を用いた埋め戻しを行う場合（液状化防止を目的とした場合）には、改良土が液状化しないような強度を有する配合としなければならない。また、当然のことながら埋め戻し後においても、室内配合試験通りの強度発現がなくてはならない。

これらを確認するには、配合試験時における使用材料の確認及び室内配合試験の妥当性を確認し、なおかつ施工後の強度発現を確認する必要がある。

配合試験時の確認項目としては、下記が挙げられる。

- ① 使用する材料（土砂）の特性
- ② 改良土の一軸圧縮強度（室内配合試験時の供試体）

施工後の確認項目としては、下記が挙げられる。

- ③ 改良土の一軸圧縮強度（埋め戻し後のブロックサンプリング）

また、施工現場における締め固め度が強度発現に及ぼす影響が大きいことから、下記を追加する必要がある。

- ④ 施工後の現場密度

なお、道路管理者や各自治体の規定等により、CBR等の管理が必要な場合は別途これを行う必要がある。

下記に、①～④の想定方法について述べる。

①使用する材料（土砂）の特性の測定方法

使用する材料の土質特性を把握するために、次の試験を実施する。

- ・土粒子の密度試験（JIS A 1202、JGS 0111）
- ・土の含水比試験（JIS A 1203、JGS 0121）
- ・土の粒度試験（JIS A 1204、JGS 0131）
- ・突固めによる土の締固め試験（JIS A 1210）

※ J I S : 日本工業規格、 J G S : 地盤工学会規格)

②一軸圧縮強さの測定方法

一軸圧縮強さの評価は、JIS 1216 に基づき実施する。なお、配合試験時の供試体は「安定処理土の静的締固めによる供試体作成方法（JGS 0812）」により供試体を作成し、施工後の供試体は現地よりブロックサンプリングによる不攪乱試料を採取して実施する。

③締固め度の測定方法

締固め度を評価する方法として、土の密度（単位体積量）を測定、あるいは強度・変形特性を測定することが一般に行われている。

土をよく締め固めると土粒子の配列が密になり、土塊は物理的に安定した状態となるが、密度の測定はこの状態を直接評価する方法である。土粒子の骨格密度を示す乾燥密度を得るため、あるいは飽和度や空気間隙率を得るためには、土塊の含水状態を知る必要があり、そのために一般に密度測定と同時に含水比の測定も行う。

一方、強度・変形特性は、気象条件等の外的条件の変化が少ない場合やそのような条件が強度特性を及ぼす影響の少ない材料（砂・礫等）に対する締固め度の評価に用いられる。強度特性と密度の間に直接的な対応関係はないが、強度・変形特性を現位置載荷試験あるいは現位置貫入試験等で代表させた場合、その測定は密度の測定に比べて一般的に簡単・迅速であり、締固めの程度に敏感に反応するので、締固め管理には有利である。また、評価の目的が強度・変形特性である場合は、これを直接用いることができる。

密度や強度の測定には色々な方法がある。現在用いられている密度・強度の測定方法としては、表-5.8 のようなものが挙げられる。

密度測定には、原位置で掘り出した土の重量をそのまま測定する直接法（ブロックサンプリング、コアカッター法等）、また原位置で掘り出した土の重量をそのまま計り、掘り跡の空間を他の物質で置換することにより土の体積を知る置換法（砂置換法、水置換法、等）あるいは他の物理量から密度を推定する間接法（RI 法、等）がある。

含水比の測定の場合には、土を過熱して水分を追い出すことにより含水比を知る直接法（炉乾燥法、赤外線法、電子レンジ法、等）や他の物理量から含水状態を推定する間接法（RI 法、等）がある。

表-5.8 締固め度測定方法の種類

	方法	原理・特徴	適用土質			使用状況	測定方法の基準
			礫	砂	粘		
密度	コアカッター法 砂置換法（注砂法） 砂置換法（突砂法） ラバーバルーン法 シート法	定容積のモールドを土中に圧入する。 （乾燥砂） （乾燥砂）掘り出した跡の穴を別の材料 （水）で置換することにより掘り出 （水）した土の体積を知る	— ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ —	△ ◎ ○ ○ ○	地盤工学会 JIS A 1214 NEXCO 他 地盤工学会 地盤工学会
	RI 法	土中での放射線（ガンマ線）透過減衰 を利用した間接測定。線源棒挿入によ る非破壊的な測定法。	○	○	○	○	地盤工学会
含水量	炉乾燥法 急速乾燥法	一定温度（110℃）における乾燥 フライパン、アルコール、赤外線、電 子レンジなどを利用した燃焼・乾燥に よる簡便・迅速な測定方法。	○ ○	○ ○	○ ○	◎ ○	JIS A 1203 地盤工学会
	RI 法	放射線（中性子）と土中の水素元素と の散乱・吸収を利用した間接測定。非 破壊測定法。		○	○	○	地盤工学会
強度・ 変形	平板載荷試験 現場 CBR 試験 土研式円錐貫入試験 球体落下	静的載荷による変形指示特性の測定 " 貫入 10cm に対する打撃回数 球体落下時のくぼみ量の測定	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ — ○	○ ○ △ △	JIS A 1215 JIS A 1211 — 北海道開発局

このうち、直接法や置換法は多くの時間や費用を要し、日々の施工管理を行うための測定方法としては不向きである。これに対し、間接法は、測定時間も短く費用も安価であり、日々の施工管理の中で実現可能な測定方法である。ただし、間接法は測定結果にばらつきが多いため、多点で実施し測定精度を向上させる必要がある。

強度・変形特性の測定には、静的載荷（平板載荷試験、現場 CBR 試験、等）のような直接法と、貫入試験や球体落下試験から推定する間接法がある。密度測定と同様に直接法は多くの時間や費用を要し、間接法は測定時間も短く安価であることから、日々の施工管理の中で実現可能な測定方法である。また、強度・変形特性を測定するための間接法も、測定結果にばらつきが多いため、多点で実施し測定精度を向上させる必要がある。

関係分野あるいは関係機関で採用されている締固め度の規定例を示すと表-5.9 のようである。ほとんどの場合、乾燥密度と基準乾燥密度の比で定義される締固め度や、土質によっては飽和度・空気間隙率で規定するいわゆる密度管理が主となっている。

同表には試験頻度を示しているが、一般に下水道管路布設工事の規模は小規模のものが多く、道路土工（盛土工）で行われている試験頻度（500m³~5000m³に1回）は準用し難い。

実際の現場では、埋戻し土の締固めにタンパを用いることが多い。機械投入で埋戻しを行った場合の日当作業量が3.3m³/日であり、人力投入で埋戻しを行った場合の日当作業量が3.8m³/日である。ことから、直接法で品質確認を行う場合は3.0m³毎（もしくは1作業日当たり1回）に、間接法で品質確認を行う場合は4m³毎（もしくは1作業日当たり1回）に試験を行うが望ましい。

表-5.9 各機関の締固め度規定

機関／分野	土質	試験項目	試験頻度	
国土交通省 関東地方整備局 (道路土工)		路体：最大乾燥密度の85%以上 路床：最大乾燥密度の90%以上 その他、設計図書による。	路体の場合、1,000m ³ につき1回。但し、5,000m ³ 未満の工事は、1工事当たり3回以上。 路床の場合、500m ³ につき1回。但し、1,500m ³ 未満の工事は1工事当たり3回以上。 500 m ³ に1回,5000 m ³ 未満1工事当たり3回以上,1000 m ³ 未満1工事当たり1回以上。	
北海道開発局 (道路土工)	現場密度の測定 又は飽和度の測定 (粘質土)	・路体：最大乾燥密度の85%以上。 ・路床：最大乾燥密度の90%以上。 その他、設計図書による。	路体の場合、1,000m ³ につき1回の割合で行う。但し、5,000m ³ 未満の工事は、1工事当たり3回以上。 路床の場合、500m ³ につき1回の割合で行う。但し、1,500m ³ 未満の工事は1工事当たり3回以上。	
日本道路協会 (路床)		含水量試験 比重試験 粒度試験 液性限界試験 塑性限界試験 土の突固め試験 締固め度90%以上 路床土支持力比試験	500m ³ につき1回。但し、500m ³ 未満の工事は、1工事当たり3回以上。	
日本道路公団 (上部路床)	細粒分 20%以下	基準試験(土の突固め試験) 締固め度97%以上(平均値)	5000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
	20~50%	基準試験(土粒子の比重試験) 空気間隙率13%以下(平均値)	5000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
	50%以上	基準試験(土粒子の比重試験) 空気間隙率8%以下(平均値)	5000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
(下部路床)	20%以下	基準試験(土の突固め試験) 締固め度92%以上(平均値)	10000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
	20~50%	基準試験(土粒子の比重試験) 空気間隙率13%以下(平均値)	10000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
	50%以上	基準試験(土粒子の比重試験) 空気間隙率8%以下(平均値)	10000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
(路体)	20%以下	基準試験(土の突固め試験) 締固め度92%以上(平均値)	20000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
	20~50%	基準試験(土粒子の比重試験) 空気間隙率13%以下(平均値)	20000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
	50%以上	基準試験(土粒子の比重試験) 空気間隙率8%以下(平均値)	20000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごとに1日15点(RI計器による)	
	工法規定	基準試験 モデル施工により決定	20000 m ³ に1,材料ごとに1回 施工箇所1層ごと	
住宅都市整備公団	粗粒土	含水量試験 土の突固め試験 締固め度85%以上	盛土初期 6000 m ³ に1回 50000 m ³ に1回	盛土初期以降 12000 m ³ に1回 必要の都度
	細粒土	含水量試験 土粒子の比重試験 空気間隙率2~15% コーン指数4以上	6000 m ³ に1回 6000 m ³ に1回 50000 m ³ に1回 6000 m ³ に1回 6000 m ³ に1回	12000 m ³ に1回 必要の都度 12000 m ³ に1回 12000 m ³ に1回

出典：

土の締固めと管理（土質基礎工学ライブラリー36）、土質工学会、1991.1

関東地方整備局 HP：平成20年度版 道路・河川工事仕様書－施工管理基準（品質管理）

北海道開発局 HP：土木工事施工管理基準及び規格値(平成19年4月改定)

日本道路協会：道路土工－施工指針、1986.11

「土木研究所資料 下水道管路埋戻し材料の繰返し強度特性に関する実験報告書、平成 12 年 8 月」によると、間接法で強度管理を行う場合、土研式円錐貫入試験や球体落下試験によることが多い。強度管理の目安値として、土研式円錐貫入試験の場合は、貫入 10cm に要する打撃回数がおおよそ 15 回以上、球体落下試験の場合は、鋼製の球体を地面に落下させたときの地面の窪み直径 D が 8.3cm 以下としている場合が多い。

以上を踏まえ、締め固め度の施工管理方法として適切と考えられる方法を以下に示す。

- ・ 密度測定・・・RI 法
- ・ 含水量測定・・・RI 法
- ・ 強度測定・・・土研式円錐貫入試験あるいは球体落下試験

(2) その他の管理項目

施工管理においては、施工管理基準及び規格値に定められる事項を確認する他、強度発現における影響因子と考えられる事項についても確認する必要がある。

以下に、品質管理項目の他に、十分な管理（確認）が必要と考えられる事項を示す。

a) 固化材料の管理

仕様書通りの固化材が使用されているかを確認するため、納入量、使用量、添加量の管理を行う。

また、プラント混合の場合、プラント内での仮置き期間があると、初期強度の発現が阻害され、最終強度が著しく低下する。事前配合試験で想定した仮置き期間を超える仮置き期間となると、期待した強度が得られない可能性がある。このため、プラント配合の日時と現場打設日時をチェックできるようにしなければならない。

b) 施工状況の管理

各施工段階の状況を管理する。具体的には、固化材の散布状況、固化材の混合状況、各層の撒き出し状況、転圧状況等である。

固化材の散布状況や混合状況については、プラント混合においては現場立会を行う、計量設備の計量精度を品質管理基準に追加する等の他、写真管理による方法が考えられる。

撒き出し状況や転圧状況については、締め固め度に直接影響することから十分な管理が必要であるが、各層毎に締め固め度を測定することは非現実であり、層厚や締め固め方法を目視や写真にて管理する必要がある。

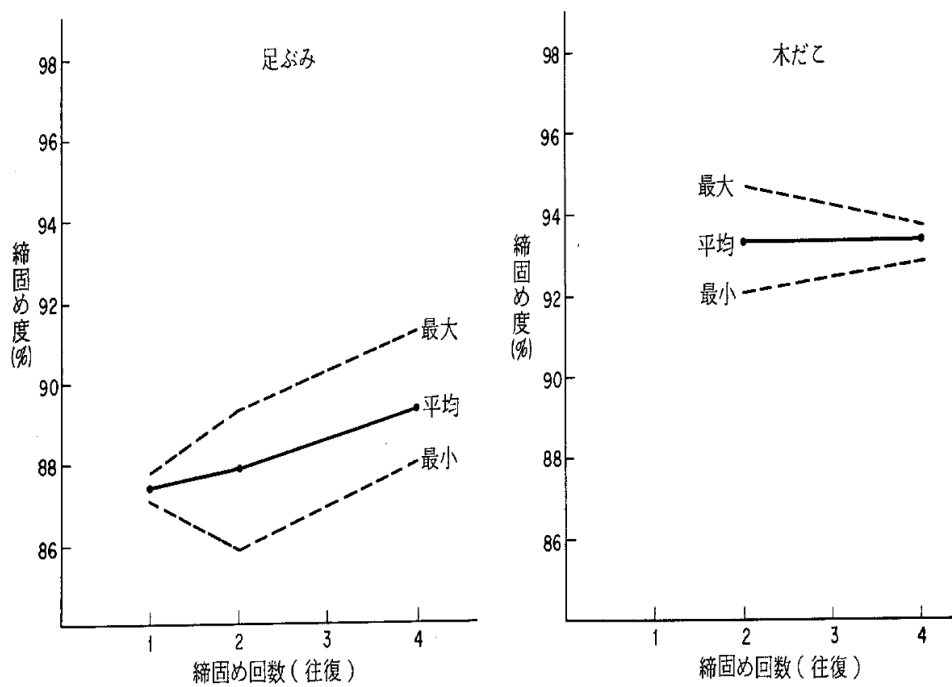
締め固め方法（転圧方法）が適切かどうかの判断は、「下水道用硬質塩化ビニル管道路埋設指針」（(財)国土開発技術研究センター）に、締め固め回数と締め固め度の関係が締め固め機具毎に示されており（表-5.10、図-5.6）、これを参考にするとよい。

表-5.10 締め固め回数と締め固め度の関係 (機械転圧)

供試体	締め固め器具	締め固め器具重量 (kg)	締め固め回数			締め固め回数と締め固め度の関係
			4 往復	6 往復	8 往復	
砂 I-a 細粒分 : 9% r_{dmax} : 1.501 t/m ³ Wopt : 21.8%	振動コンパクター	80	90.6	91.3	92.0	
		120	91.3	92.0	92.0	
	タンピングランマー	80	96.7	94.7	98.0	
		120	96.7	95.3	96.7	
砂 I-c 細粒分 : 4% r_{dmax} : 1.691 t/m ³ Wopt : 17.6%	振動コンパクター	80	92.3	92.3	92.3	
		120	90.5	91.7	94.1	
	タンピングランマー	80	97.0	97.6	98.2	
		120	95.9	96.4	97.6	
砂 II-b 細粒分 : 25% r_{dmax} : 1.670 t/m ³ Wopt : 19.1%	振動コンパクター	80	92.2	91.0	94.0	
		120	85.6	87.4	87.4	
	タンピングランマー	80	94.0	—	—	
		120	※	—	—	

- 備考 : 1. 表中の数字は、締め固め度の平均値(%)を示す。
 2. $\text{締め固め度} = \frac{\text{締め固め後の乾燥密度}(r_d)}{\text{JISA 1210の最大乾燥密度}(r_{dmax})} \times 100$ で表わす。
 3. 試験はピット(深さ1.15m、長さ10m、巾1.15m)内で実施した。
 4. 締め固め厚さは0.3mとした。
 5. ※印は、施工不能のため3往復で測定した。
 6. -印は、施工不能のため実施せず。

出典 : 「下水道用硬質塩化ビニル管道路埋設指針」、(財)国土開発技術研究センター



備考：1. 足ぶみ1往復のみ管底側部の締め固めなしで試験した。

図-5.6 締め固め回数と締め固め度の関係 (人力転圧)

出典：「下水道用硬質塩化ビニル管道路埋設指針」、(財)国土開発技術研究センター