

4. セメント系改良土の配合試験に関する検討

4. セメント系改良土の配合試験に関する検討

中越沖地震による被災事例より、地下水の存在や、改良土の仮置きや解きほぐし等がセメントの固化に大きく影響していることが推察された。

室内配合試験における設計強度を決定する際には、これらの影響を考慮する必要があることから、ここでは下水道管路施設の埋め戻しへセメント系改良土を利用した場合を想定し、これら影響因子が強度発現にどう影響しているかを把握する。また、配合試験方法について、下水道以外の分野でどのような基準があるかについて整理する。

4.1 セメント系改良土の配合試験に関する各種基準

下水道管路施設の埋め戻し材にセメント系改良土を用いる場合の室内配合試験や施工方法、品質管理については、下水道独自の基準がないことから、道路や港湾などの基準に準拠する例が多い。

配合試験の方法については、道路、港湾、建築、鉄道、発生土利用の各分野で規定を設けている。

各分野の基準を比較すると、突固め方法や供試体作成時の含水比、養生方法などの項目が異なっている。各項目の考え方を整理したものを表－4.1 に、各々の基準等の一覧表を表－4.2、4.3 に示す。

表－4.1 各分野における配合試験の考え方

項 目	基準の内容
突固め方法	- 道路舗装設計に供する配合試験では、突固め方法について細かに規定されている。 - 深層混合処理、浅層混合処理工のための配合試験では、地盤工学会による供試体作成方法を適用している。 - その他では特に供試体作成方法について規定されておらず、現場条件を考慮して供試体を作成するものとされる。
供試体作成時の含水比	- 道路の路床、路体、建築の深層混合、浅層混合処理＝自然含水比 W_N - 路盤＝最適含水比 W_{opt} - 発生土利用マニュアルでは、最適含水比 W_{opt} とその前後を合わせて3水準の含水比で試験をする。 - その他では特に含水比について規定されておらず、現場条件を考慮して供試体を作成するものとされている。
養生方法	- 道路舗装設計用配合試験＝7日養生 - 路床、路体＝空気中3日＋水浸4日養生 - 路盤＝空気中6日＋水浸1日 - 港湾＝養生環境は示されず、28日強度を用いることとされている。 - 建築＝湿空養生28日 - 鉄道＝養生環境は示されず、28日強度を用いることとされる。 - 発生土利用＝ 【締固めを行う場合】 - 混練→解きほぐし供試体作成間＝任意に養生設定 - 供試体作成→強度試験間＝空中3日、水浸4日（養生7日、28日） 【締固めを行わない場合】 - 混練→供試体作成間＝空中養生（任意期間） - 供試体作成→強度試験間＝空中3日、水浸4日（養生7日、28日） ただし、個々の条件に見合った供試体作成、養生条件を設定することとされている。

表-4.2 各分野における配合試験の規定（1／2）

対象	基準・指針等	用 途	試 験	突固め法※	作成時含水比	セメント系固化の養生	その他		
下水									
河川									
道 路	舗装試験法便覧 （日本道路協会）	路床	CBR 試験	Eo 法	WN	空气中3日、水浸4日			
		路盤	一軸試験	A 法	Wopt	空气中6日、水浸1日			
	日本道路公団試験方法 （日本道路公団）	下層路体	コーン指数試験	B 法	WN	空气中3日			
		路床および上部路体	CBR 試験	B 法	WN	空气中3日、水浸4日			
				Eo 法 （ただし突固め 回数3種）	WN ≥ Wopt → WN WN < Wopt → Wopt	空气中3日、水浸4日			
		下層路盤	CBR 試験	E 法	Ww95※	空气中3日、水浸4日			
		上層路盤	一軸試験	A 法	Wopt	空气中6日、水浸1日			
港 湾	港湾施設の技術上の基準・同解説 （日本港湾協会）	土圧低減、液状化防 止のための事前混合 処理工法	液状化：一軸試験 土圧低減：三軸 CD 試験	配合試験の試験条件は現場条件と類似することが望ましい。			室内強度／現場強度＝1.1～1.2		
	埋立地の液状化対策ハンドブック （沿岸開発技術研究センター）	液状化防止のための 事前混合処理工法	一軸試験 三軸 CD 試験	規定無し	規定無し	28 日（環境規定無し）	室内強度／現場強度＝1.1～1.2		
建 築	建築物のための改良地盤の設計 及び品質管理指針 （日本建築センター）	深層混合処理工 浅層混合処理工	一軸試験	深層混合： JGS T 821 浅層混合： JGS T 811 JCAS A-01 JGS T 821	WN	湿空養生 28 日	室内強度／現場強度は、設計指針 表 4.1.5 による	W/C ＝60～100%	浅層改良最低添加量 粘性土：60kg/m ³ 砂質土：50kg/m ³

※Ww95 は、最大乾燥密度との比 95%に対応する湿潤側の含水比

表-4.3 各分野における配合試験の規定（2／2）

対象	基準・指針等	用途	試験	突固め法※	作成時含水比	セメント系固化的養生	その他	
鉄道	鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物(鉄道各社)	路床	一軸圧縮試験	規定無し	規定無し	28 日(環境規定無し)		
発生土	発生土利用促進のための改良工 法マニュアル (財)土木研究センター)	埋め立て	締固めを行う場合 コーン指数試験	締固めを行う場合			室内強度／現場強度=1/3～1/1.25 プラント安定処理では、現場強度 は室内配合試験の 50%～80% 締固めをした場合さらに強度低下 (1/3～1/5)	W/C=100% または粉体
		公園緑地造成		規定無し	3水準 Wopt およびそ の前後	混練→解きほぐし供試体作成間 任意期間(個々の条件に応じて設定)		
		宅地造成				供試体作成後 空气中 3 日、水浸 4 日 材令 7 日又は 28 日		
		一般堤防		締固めを行わない場合				
		高規格堤防	締固めを行わない場合 コーン指数試験または 一軸圧縮試験	規定無し	3水準 Wopt およびそ の前後	混練→供試体作成間 空气中任意期間 (個々の条件に応じて設定)		
		道路路体用盛土				供試体作成後 空气中 3 日、水浸 4 日 材令 7 日および 28 日(必要に応じて 3 日も)		
		土木構造物の裏込め						
		道路(路床)盛土						
		構造物の埋め戻し						

※A法、B法等の突固め法は右表による。

表 突固め方法の種類

突固め方 法の呼び 名	ランマー 質 量 kg	モールド 内 径 cm	突固め 層 数	1層当 たりの突固 め回数	許容量 大粒径 mm
A	2.5	10	3	25	19
B	2.5	15	3	55	37.5
C	4.5	10	5	25	19
D	4.5	15	5	55	19
E	4.5	15	3	92	37.5

4.2 セメント系改良土の発現強度に関する試験

(1) 試験目的

既に述べたとおり、セメント系改良土の埋め戻し部が被災した原因として、下記が考えられた。

- ①. 埋め戻し後、地下水がセメント固化に何らかの影響を与えている可能性がある。
- ②. プラント配合後、出荷、埋め戻しまでの時間が長く、仮置き試料の解きほぐしによる強度低下の影響が大きかった可能性がある。
- ③. 埋め戻し土の締固めが不十分であった可能性がある。
- ④. ①②③を含めて試験時の養生条件が現場条件と異なっていたために、強度が室内試験による想定と異なっていた可能性がある。

また、事前室内配合試験、プラント製造時一軸圧縮強度試験、埋め戻し土の一軸圧縮強度試験結果の考察により、施工時の締固めがプラント配合試験の条件よりかなり小さかったこと、解きほぐしの影響を考慮していなかった可能性があること、養生期間中の含水比が高かったと推察されることなどがわかり、埋め戻し土の強度低下に影響を与えた可能性があると考えられた。

ここでは、被災原因として考えられた地下水の影響、解きほぐし・仮置きの影響、締固めの影響による、セメント系改良土の強度発現への影響について明らかにすることを目的として配合試験を実施した。

(2) 使用材料

①土砂（改良を行う土）

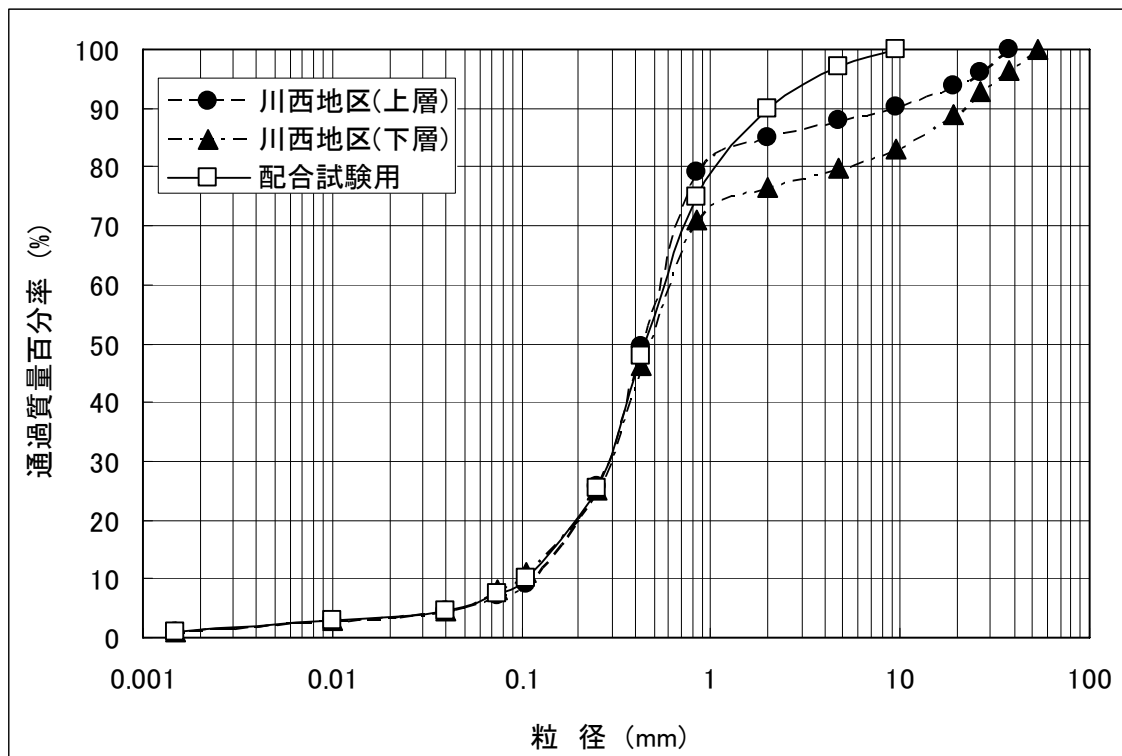
改良土には、通常、建設発生土が使用されることが多い。当然のことながら建設発生土は一樣ではなく、採取場所により土質は大きく異なる。

本試験では、新潟県出雲崎町にて実施された配合試験結果との比較を行えるよう、出雲崎町で使用された改良土と同様な試料を用いることとする。

ただし、既に出雲崎町の改良土プラントは撤収されており、同じ材料を調達することはできないことから、前述の土質調査において把握した埋め戻し土の粒度試験結果に基づいて、同様な試料を調整して試験に供するものとする。

埋め戻し土の土質試験の結果により、埋め戻し土は「細粒分混じり礫質砂」にあたり、粒径加積曲線は下記であった。

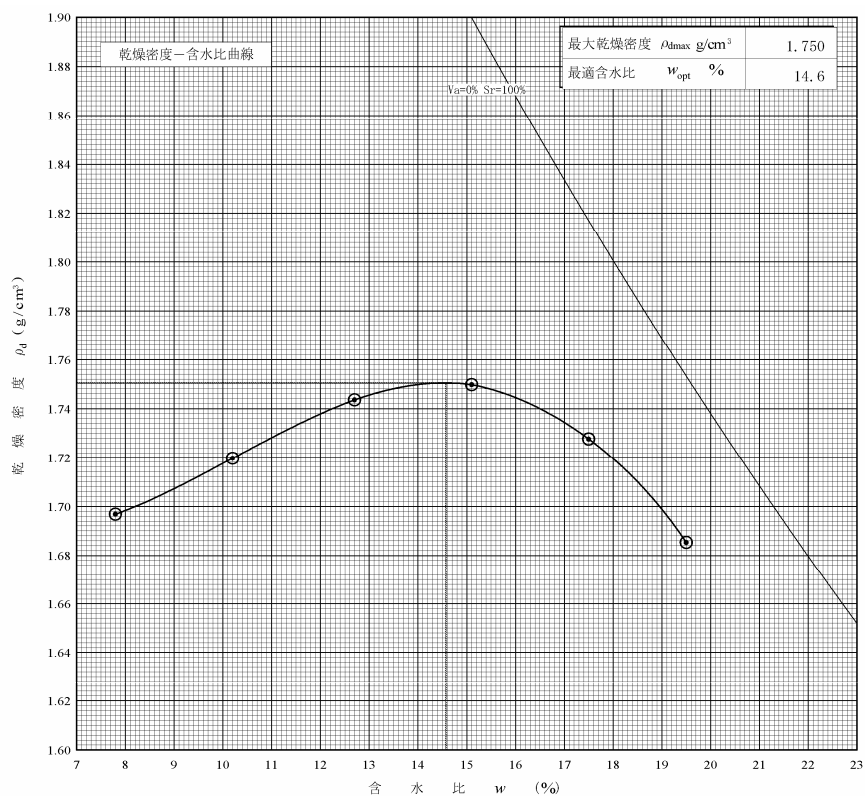
配合試験は、試料調整により上記粒度構成と同様な試料をつくり、配合試験を実施するものとした。なお、配合試験供試体はφ50mmであるため、調整試料の最大径は9.5mmとした（地盤工学会基準で、φ50mmの供試体作成では9.5mm以上の礫は取り除くとされている）。



図－4.1 調整試料の粒度試験結果

購入土より調整試料を作成した試料の粒度試験結果を図－4.1 に示す。この試料を用いて配合試験を実施した。

使用材料は、粒度試験、含水比試験、締固め試験を行い、土質性状を明らかにした。配合試験用試料の土質性状は図－4.2、表－4.4 の通りである。



図－4.2 調整試料の乾燥密度－含水比試験結果

表-4.4 購入土と調整試料の物理・締固め特性

試料番号 (深 さ)		山砂 (mm)	川砂細目 (mm)	川砂左官用 (mm)	ピリ砂利 (mm)	配合用砂 (mm)
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm^3					
	乾燥密度 ρ_d g/cm^3					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	2.634				2.664
	自然含水比 w_n %	13.3				14.3
	間隙比 e					
粒	飽和度 S_r %					
	石分 (75mm以上) %					
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	3.1	9.4	10.6	99.4	11.6
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	65.5	88.8	87.3	0.3	79.1
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	20.7				6.7
度	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	10.7	1.8	2.1	0.3	2.6
	最大粒径 mm	4.750	4.750	4.750	19.000	9.500
	均等係数 U_c	36.519	3.000	3.940	1.496	6.480
	50% 粒径 D_{50} mm	0.1334	0.5015	0.5610	6.6025	0.4378
コン シ デ ン シー 特 性	液性限界 w_L %					
	塑性限界 w_p %					
	塑性指数 I_p					
	地盤材料の 分類名	細粒分質砂	礫まじり砂	礫まじり砂	礫	細粒分礫まじり 砂
	分類記号	(SF)	(S-G)	(S-G)	(G)	(S-FG)
圧 密	試験方法					
	圧縮指数 C_c					
	圧密降伏応力 p_v kN/m^2					
一 軸 圧 縮	一軸圧縮強さ q_u kN/m^2					
せ ん 断	試験条件					
	全応力 c kN/m^2					
		ϕ				
	有効応力 c' kN/m^2					
		ϕ'				
締 固 め	締固め試験					
	ρ_{dmax} (g/cm^3)					1.750
	W_{opt} (%)					14.6

購入土粒度特性

調整試料（配合試験試料）物理・締固め特性

②使用固化材

「高炉セメント B 種」を使用する。理由は下記による

- ・公共工事に広く使用されているとともに、出雲崎町の埋め戻し土の改良に使用されている。
- ・一般的に広く使用されているセメント固化材で、普通ポルトランドセメントと比べて六価クロム溶出の懸念が少ない。
- ・初期の硬化速度が遅く、また最大強度の発現時期も遅いため、プラント配合による埋め戻し土の改良に適していると考えられる。

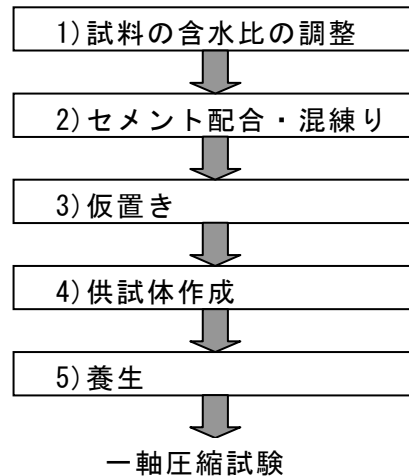
③固化材添加量

セメント配合量 2 %（対湿潤密度）とする。

- ・ 出雲崎の配合試験結果に基づいて設定されたセメント配合量を想定する。

（３）供試体作成方法

供試体の作成は下記手順によるものとする。



図－4.3 供試体作成のフロー

1) 試料の含水比の調整

プラント配合を想定し、配合時の試料の含水比は最適含水比 W_{opt} 相当とする。

2) セメント配合・混練り

プラント安定処理では粉体配合が多く、出雲崎のプラント配合でも粉体配合であったので、添加形態は粉体とする。

3) 仮置き

仮置き有り無しによる強度発現との相違を比較するため、

- ・ 混練り後、仮置き無し
- ・ 混練り後、仮置き日数 1 日
- ・ 混練り後、仮置き日数 3 日

の 3 ケースの試験を行う。

なお、仮置き期間中の養生温度は $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ とし、含水比が変化しないよう密閉条件とする。これは、現場では野積みが想定されるが、改良土量が多いので、全体の含水比変化は少ないと考えられる一方、試験室では扱う土量が少ないので、空气中養生とした場合、試料全体が乾燥し、現場条件と異なる可能性があるためである。

4) 供試体作成

3) の仮置き期間を経た土を用いて供試体を作成する。仮置き土が固化している場合は、解きほぐしを行った後に供試体を作成する。

また、現場にて締固めが不十分であった場合の影響を確認するため、下記の 2 ケースの試験を行う。

- ・ 締固め度 90%以上
- ・ 締固め度 80%

上記の条件の供試体を作成するため、事前に配合試験を行う試料で「突固めによる締固め試験（JGS 0711）」を行い、最適含水比、最大乾燥密度を求めるとともに、想定した締固め度の供試体を作成するため、「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する。

5) 養生

締固め後の地下水内での養生を想定し、養生環境の違いによる影響を確認するため、締固め後供試体の養生環境として

- ・ 空气中養生 3 日 + 水浸養生 4 日
- ・ 全期間水浸養生（以降、全水浸養生とする）

の 2 ケースの試験を行う。

（４）試験項目

所定の養生期間の後、一軸圧縮試験（JIS A 1216）を実施する。

一軸圧縮試験の供試体数は 1 試験あたり 2 供試体とする。

（５）試験条件の組み合わせ・試験スケジュール

供試体作成条件は、

- ・ 養生条件 2 ケース（空气中養生 3 日 + 水浸養生 4 日 o r 全水浸養生）
- ・ 仮置き条件 3 ケース（仮置き無し o r 仮置き 1 日 o r 仮置き 3 日）
- ・ 締固め条件 2 ケース（締固め度 90%以上 o r 締固め度 80%）

が想定され、これにより、各条件の組み合わせ数は全 12 ケースとなる。

また、条件毎の強度発現傾向の比較を行えるよう、下記の 3 条件を満たすよう配合試験の組み合わせを設定する。なお、締固め度あるいは養生条件を固定する場合には、現場条件に近いと想定される「締固め度 90%」「全水浸養生」を標準試験条件とする。仮置き条件は「仮置き無し」を標準条件とする。

条件①

「空气中養生 3 日 + 水浸養生 4 日」と「全水浸養生」の相違による強度発現の違いは、「締固め度 90%」、「仮置き無し」の条件で全試験期間中の強度変化を確認する。なお、「空气中 3 日 + 水浸 4 日養生」の一軸試験は、所定の養生が完了する 7 日目より実施する。また水浸 4 日以降は水浸養生を継続する。

条件②

「仮置き無し」「仮置き 1 日」「仮置き 3 日」の相違による強度発現の違いは、「締固め度 90%」、「全水浸養生」の条件で全試験期間中の強度変化を確認する。一軸試験は、所定の仮置き完了後、締固め供試体作成し、水浸養生 1 日後から実施する。

条件③

「締固め度の相違」による強度発現の違いは、「仮置き無し」「仮置き 1 日」のすべての条件で 7 日強度、28 日強度の相違を整理する。

「仮置き 1 日」「空气中 3 日＋水浸 4 日養生」条件では、配合後の仮置き 1 日を空气中養生に加え、締固め後は「空气中 2 日＋水浸 4 日養生」で配合後 7 日目の強度を求める。

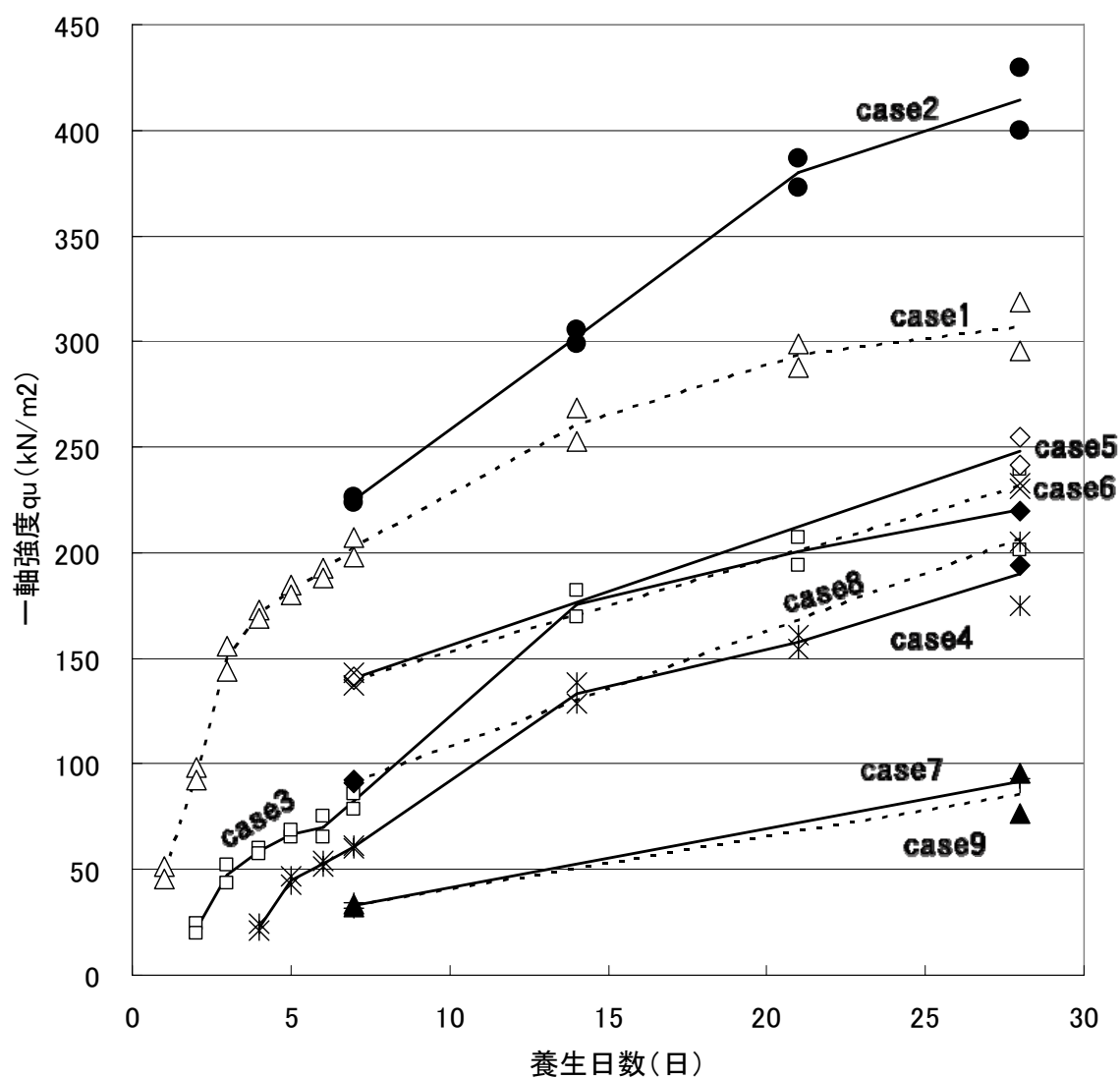
①から③の条件を考慮した試験条件の組み合わせで試験を行う。表－4.5 に一軸圧縮試験の一覧を示す。

表-4.5 一軸圧縮試験の一覧

試験目的	試験条件			ケース	セメント配合からの経過日数(○:一軸圧縮試験)										
	条件①	条件②	条件③		無し	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	14日	21日	28日
養生方法の違いによる強度発現傾向	仮置き無し	締固め度① (90%)	養生方法① (全水浸養生)	case1	配合 締固め 水浸養生	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			養生方法② (空气中3日 +水浸4日)	case2	配合 締固め	養生(空气中3日+水浸4日)						○	○	○	○
仮置き時間の違いによる強度発現傾向	養生方法① (全水浸養生)	締固め度① (90%)	仮置き① (1日)	case3	配合 仮置き	締固め 水浸養生	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			仮置き② (3日)	case4	配合 仮置き	仮置き		締固め 水浸養生	○	○	○	○	○	○	○
締固め度の違いによる強度の発現傾向	仮置き無し	養生方法① (全水浸養生)	締固め度② (80%)	case5	配合 締固め	水浸養生						○	水浸養生		○
		養生方法② (空气中3日 +水浸4日)		case6	配合 締固め	養生(空气中3日 水浸4日)						○	水浸養生		○
	仮置き① (1日)	養生方法① (全水浸養生)	締固め度② (80%)	case7	配合 仮置き	締固め	水浸養生					○	水浸養生		○
		養生方法② (空气中3日 +水浸4日)	締固め度① (90%)	case8	配合 仮置き	締固め	養生(空气中2日+水浸4日)					○	水浸養生		○
			締固め度② (80%)	case9	配合 仮置き	締固め	養生(空气中2日+水浸4日)					○	水浸養生		○

(6) 配合試験結果

実施した case1～case9 の全試験結果を図－4.4、表－4.6 に示す。



ケース	試験条件			凡例
	養生方法	仮置き日数	締固め度	
case1	全水浸養生	無し	90%	- -△- -
case2	空气中 3 日+水浸 4 日	無し	90%	—●—
case3	全水浸養生	1 日	90%	—□—
case4	全水浸養生	3 日	90%	- -*- -
case5	全水浸養生	無し	80%	- -◇- -
case6	空气中 3 日+水浸 4 日	無し	80%	—×—
case7	全水浸養生	1 日	80%	- -+- -
case8	空气中 3 日+水浸 4 日	1 日	90%	—◆—
case9	空气中 3 日+水浸 4 日	1 日	80%	- -▲- -

図－4.4 全試験結果

表-4.6 全試験結果（詳細データ）

養生 日数	case1						養生 日数	case2						養生 日数	case3					
	ρt (g/cm ³)		wn (%)		qu (kN/m ²)			ρt (g/cm ³)		wn (%)		qu (kN/m ²)			ρt (g/cm ³)		wn (%)		qu (kN/m ²)	
	試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値		試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値		試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値
1	1.914 1.915	1.915	20.5 20.6	20.6	51.5 45.2	48.4	1							1						
2	1.909 1.915	1.912	20.0 20.4	20.2	98.1 92.5	95.3	2							2	1.898 1.904	1.901	20.3 20.4	20.4	24.2 20.0	22.1
3	1.914 1.933	1.924	20.1 21.5	20.8	143.9 155.9	149.9	3							3	1.906 1.909	1.908	20.0 20.2	20.1	43.6 51.8	47.7
4	1.930 1.931	1.931	21.4 21.2	21.3	172.7 169.2	171.0	4							4	1.913 1.917	1.915	20.4 20.7	20.6	60.0 57.5	58.8
5	1.918 1.932	1.925	20.6 21.1	20.9	184.7 180.1	182.4	5							5	1.922 1.915	1.919	21.2 20.6	20.9	65.2 68.5	66.9
6	1.935 1.918	1.927	21.4 20.2	20.8	192.7 188.2	190.5	6							6	1.913 1.923	1.918	20.5 21.2	20.9	65.0 75.1	70.1
7	1.907 1.916	1.912	19.9 20.5	20.2	197.9 207.0	202.5	7	1.947 1.951	1.949	22.7 23.0	22.9	226.6 223.7	225.2	7	1.921 1.906	1.914	21.2 20.1	20.7	78.8 85.5	82.2
14	1.922 1.919	1.921	20.7 20.5	20.6	252.4 268.3	260.4	14	1.953 1.952	1.953	23.1 22.7	22.9	305.3 298.6	302.0	14	1.919 1.921	1.920	20.9 20.9	20.9	182.2 169.4	175.8
21	1.914 1.901	1.908	20.2 19.5	19.9	287.8 299.0	293.4	21	1.954 1.962	1.958	22.9 23.3	23.1	372.9 386.7	379.8	21	1.942 1.934	1.938	22.4 21.8	22.1	194.2 207.0	200.6
28	1.942 1.942	1.942	21.8 21.8	21.8	318.8 295.3	307.1	28	1.957 1.954	1.956	23.3 23.0	23.2	429.6 399.6	414.6	28	1.939 1.924	1.932	22.0 21.4	21.7	201.1 239.3	220.2

養生 日数	case4						養生 日数	case5						養生 日数	case6					
	ρt (g/cm ³)		$w n$ (%)		$q u$ (kN/m ²)			ρt (g/cm ³)		$w n$ (%)		$q u$ (kN/m ²)			ρt (g/cm ³)		$w n$ (%)		$q u$ (kN/m ²)	
	試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値		試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値		試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値
1							1							1						
2							2							2						
3							3							3						
4	1.909 1.921	1.915	20.2 21.3	20.8	21.3 24.2	22.8	4							4						
5	1.934 1.935	1.935	21.8 22.0	21.9	47.0 42.8	44.9	5							5						
6	1.944 1.957	1.951	22.8 23.3	23.1	53.9 51.4	52.7	6							6						
7	1.949 1.951	1.950	22.7 23.3	23.0	61.5 60.0	60.8	7	1.809 1.811	1.810	27.6 28.0	27.8	139.7 141.1	140.4	7	1.834 1.829	1.832	29.8 29.3	29.6	137.1 142.9	140.0
14	1.960 1.949	1.955	23.5 22.9	23.2	138.3 128.7	133.5	14							14						
21	1.958 1.954	1.956	23.1 23.1	23.1	154.7 160.7	157.7	21							21						
28	1.955 1.957	1.956	23.2 23.1	23.2	205.1 174.6	189.9	28	1.814 1.819	1.817	28.4 29.1	28.8	254.4 241.6	248.0	28	1.847 1.844	1.846	30.7 30.5	30.6	232.7 230.2	231.5

養生 日数	case7						養生 日数	case8						養生 日数	case9					
	ρt (g/cm ³)		$w n$ (%)		$q u$ (kN/m ²)			ρt (g/cm ³)		$w n$ (%)		$q u$ (kN/m ²)			ρt (g/cm ³)		$w n$ (%)		$q u$ (kN/m ²)	
	試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値		試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値		試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値
1							1							1						
2							2							2						
3							3							3						
4							4							4						
5							5							5						
6							6							6						
7	1.849 1.842	1.846	31.5 31.1	31.3	31.7 34.0	32.9	7	1.939 1.935	1.937	22.4 22.0	22.2	92.3 90.8	91.6	7	1.820 1.817	1.819	29.4 29.2	29.3	32.5 33.7	33.1
14							14							14						
21							21							21						
28	1.850 1.848	1.849	31.4 31.0	31.2	90.8 92.9	91.9	28	1.949 1.912	1.931	22.7 20.4	21.6	194.2 219.5	206.9	28	1.817 1.825	1.821	29.2 29.8	29.5	95.5 76.3	85.9

最も強度が発現したのは、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）条件であった。

出雲崎町の事前配合試験結果では、固化材添加量 2 %、封緘養生 7 日の強度が、218 k P a であったのに対し、今回の試験結果では case2 の 7 日強度が 225.2 k P a となっており、ほぼ出雲崎町の事前配合試験結果と同様な結果が得られた。

出雲崎町のプラント配合土の試験では、固化材添加量 2 %で 7 日強度が 114～155 k P a、28 日強度が 340～372 k P a であり、case2 と比較すると今回試験値はこれより

やや強度が高い結果であった。

一方、最も強度発現が低かったのは、case9「締固め度 80%、仮置き 1 日、空中 3 日水浸 4 日養生」であった。

また、case7「締固め度 80%、仮置き 1 日、全水浸養生」も case9 と概ね同程度に低い結果であった。

28 日強度で比較すると、case9 は case2 の 21% しか強度発現が認められなかった。

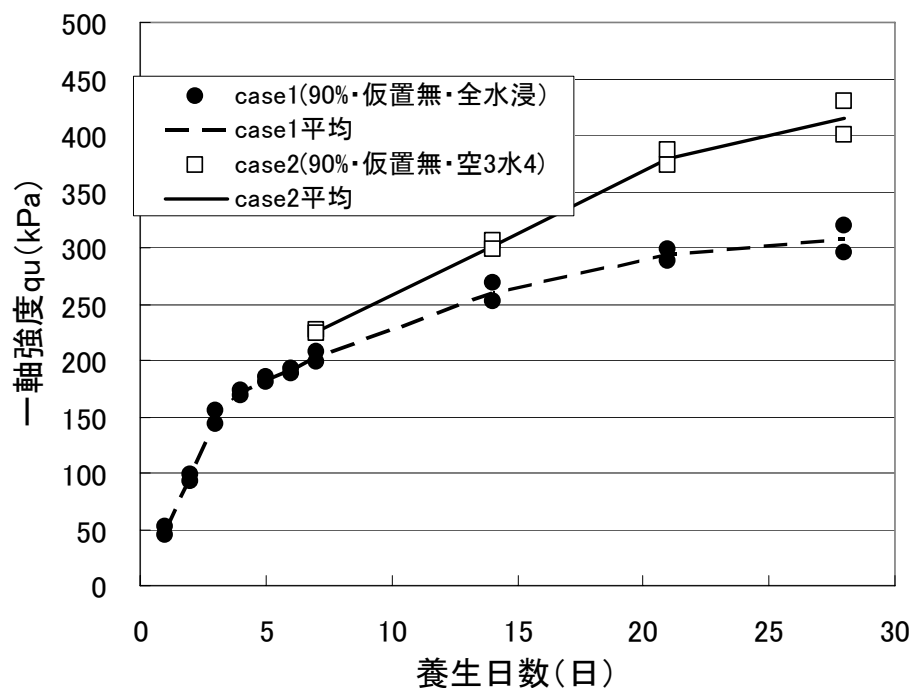
配合からの強度発現傾向の変化を見ると、配合から 3 日目と配合から 14 日目に強度発現曲線の変曲点が認められ、徐々に強度勾配が緩くなっている。特に case1 では配合から 3 日目までに急激な強度増加が認められた。

表－4.7 28 日強度発現順位

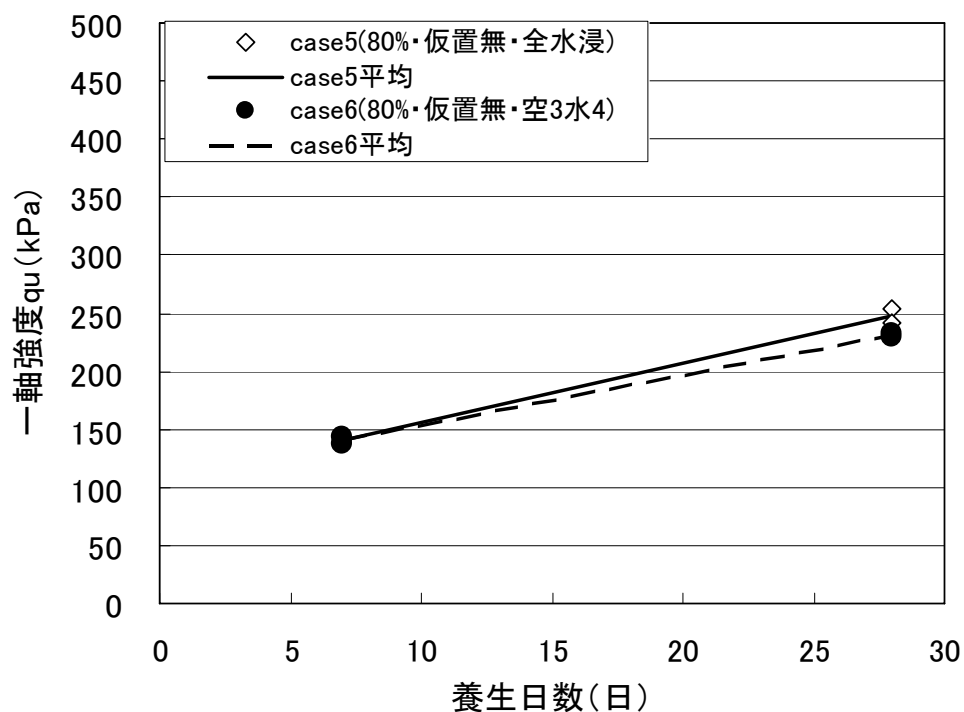
順位	ケース	試験条件			28 日強度	強度比 (対 case2)
		養生方法	仮置き日数	締固め度		
1	case2	空中 3 日+水浸 4 日	無し	90%	414.6 k P a	100%
2	case1	全水浸養生	無し	90%	307.1 k P a	74%
3	case5	全水浸養生	無し	80%	248.0 k P a	60%
4	case6	空中 3 日+水浸 4 日	無し	80%	231.5 k P a	56%
5	case3	全水浸養生	1 日	90%	220.2 k P a	53%
6	case8	空中 3 日+水浸 4 日	1 日	90%	206.9 k P a	50%
7	case4	全水浸養生	3 日	90%	189.9 k P a	46%
8	case7	全水浸養生	1 日	80%	91.6 k P a	22%
9	case9	空中 3 日+水浸 4 日	1 日	80%	85.9 k P a	21%

2) 養生方法の違いによる比較

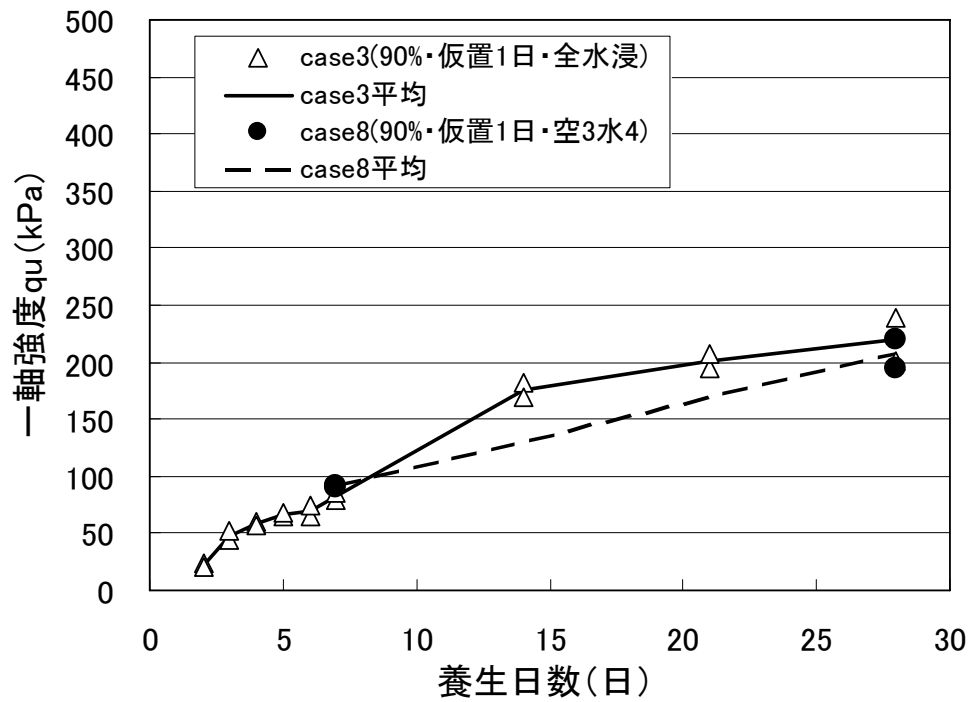
養生方法の違いによる強度発現の傾向を図－4.5 に示す。



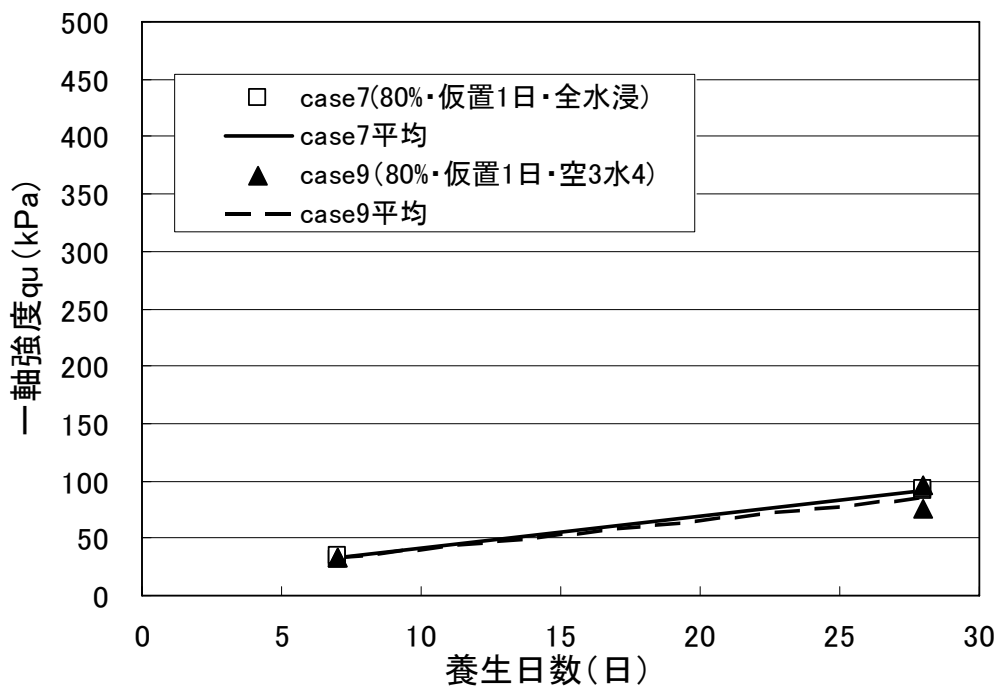
図－4.5 養生方法の違いによる発現強度（締固め度 90%、仮置き無し）



図－4.6 養生方法の違いによる発現強度（締固め度 80%、仮置き無し）



図－4.7 養生方法の違いによる発現強度（締固め度 90%、仮置き 1 日）



図－4.8 養生方法の違いによる発現強度（締固め度 80%、仮置き 1 日）

表-4.8 試験結果（詳細データ）

養生 (日)	仮置き無し				仮置き 1 日			
	締固め度 90%		締固め度 80%		締固め度 90%		締固め度 80%	
	qu(kPa)		qu(kPa)		qu(kPa)		qu(kPa)	
	全水浸	空 3 水 4	全水浸	空 3 水 4	全水浸	空 3 水 4	全水浸	空 3 水 4
	case1	Case2	case5	case6	case3	case8	case7	case9
1	48.4							
2	95.3				22.1			
3	149.9				47.7			
4	171.0				58.8			
5	182.4				66.9			
6	190.5				70.1			
7	202.5	225.2	140.4	140.0	82.2	91.6	32.9	33.1
14	260.4	302.0			175.8			
21	293.4	379.8			200.6			
28	307.10	414.6	248.0	231.5	220.2	206.9	91.9	85.9
	28 日 強度比	1.35	28 日 強度比	0.93	28 日 強度比	0.94	28 日 強度比	0.94
		Case2/case1		case6/case5		case8/case3		case9/case7

「締固め度 90%」、「仮置き無し」の条件で比較すると、case2 の「空中 3 日＋空中 4 日浸養生」の強度が case1 の「全水浸養生」を大きく上回った。

「締固め度 80%」、「仮置き 1 日」の条件では、28 日強度で比較すると強度比は 93～94%であり、わずかに「全水浸養生」の強度が高かったが、養生方法による違いはほとんどないものと考えられる。

結果をまとめると以下の通りである。

- ☐ 仮置き無しで、埋め戻し土を十分に締固め（90%以上）、強度発現初期に地下水で飽和しない条件が最も強度が高くなる。
- ☐ 仮置き無しで締め固めを十分に行った場合、地下水による飽和の有無で強度に大きく差が出る（地下水がある場合には、25%強度が低下する）。
- ☐ 仮置き期間があるか、締固めが不十分な場合には、養生方法に関係なく強度が大きく低下する。

3) 仮置き期間の違いによる強度発現傾向

締固め度 90%、全水浸養生とした場合の、仮置き日数の違いによる強度発現傾向を図-4.9 に示す。

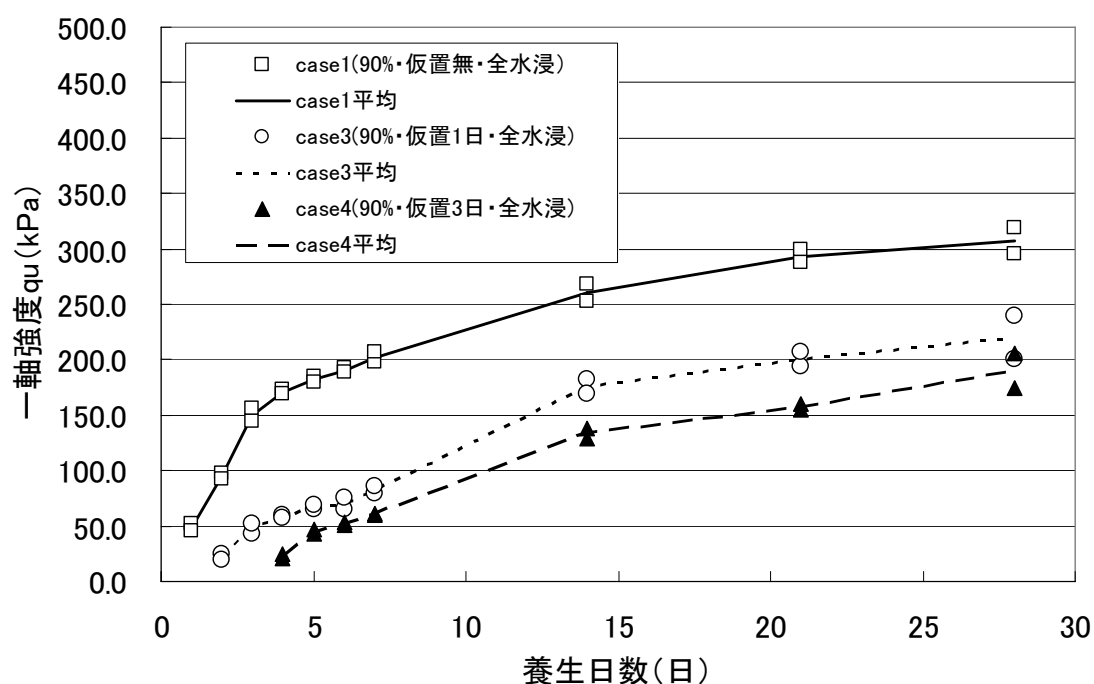
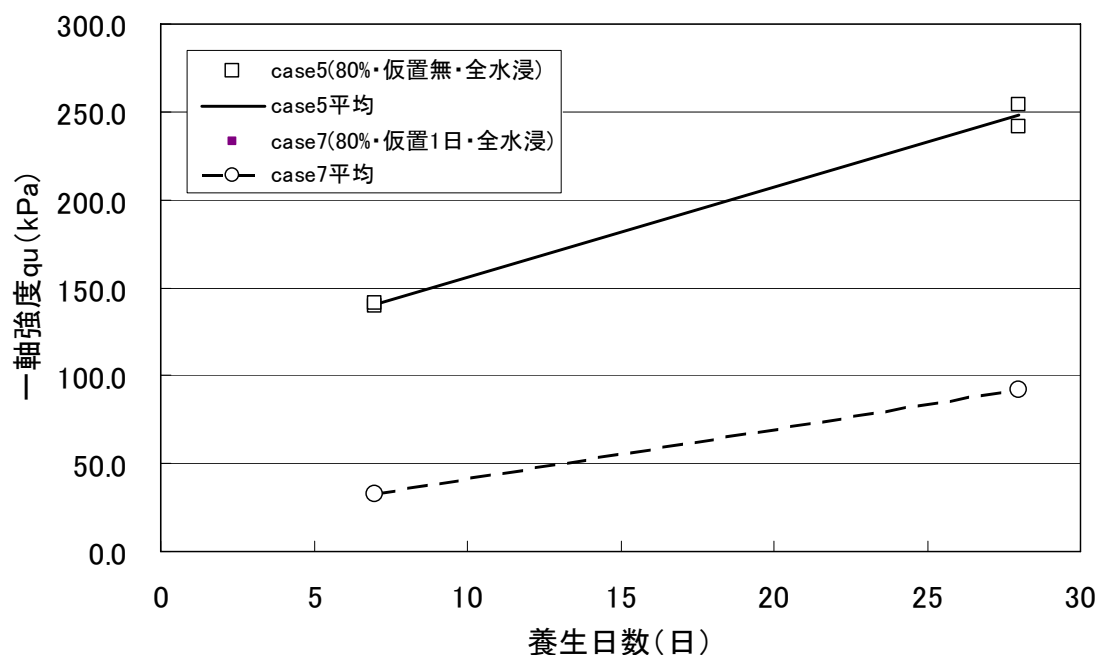


図-4.9 仮置き期間の違いによる発現強度（締固め度 90%、全水浸）

表-4.9 試験データ（詳細データ）

養生 (日)	仮置き無し	仮置き 1 日	仮置き 3 日	備考
	case1 平均	case3 平均	case4 平均	
	qu(kPa)	qu(kPa)	qu(kPa)	
1	48.4	0.0		
2	95.3	22.1		
3	149.9	47.7		
4	171.0	58.8	22.8	
5	182.4	66.9	44.9	
6	190.5	70.1	52.7	
7	202.5	82.2	60.8	
14	260.4	175.8	133.5	
21	293.4	200.6	157.7	
28	307.1	220.2	189.9	
28 日強度比	1.00	0.70	0.60	case1 を1としたときの 28 日強度比
case2 強度比	0.74	0.53	0.46	case2 を1としたときの 28 日強度比

次に、締固め度 80%、全水浸養生とした場合の、仮置き日数の違いによる強度発現傾向を図－4.10 に示す。



図－4.10 仮置き期間の違いによる発現強度（締固め度 80%、全水浸）

表－4.10 試験データ（詳細データ）

養生 (日)	仮置き無し	仮置き 1 日	備考
	case5 平均	case7 平均	
	qu(kPa)	qu(kPa)	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7	140.4	32.9	
14			
21			
28	248.0	91.9	
28 日強度比	1.00	0.37	case5 を1としたときの 28 日強度比
case1 強度比	0.81	0.30	case1 を1としたときの 28 日強度比
case2 強度比	0.60	0.22	case2 を1としたときの 28 日強度比
case3 強度比	1.13	0.42	case3 を1としたときの 28 日強度比

試験結果をまとめると以下の通りである。

- ・仮置き期間が長いほど強度発現が悪い傾向が確認された。
- ・締固め度 90%の場合、仮置き無し（case1）に 28 日強度で比較すると、仮置き 1 日では 70%、仮置き 3 日では 60%の強度であった。
- ・全ケースの中で最も強度発現が良かった case2 の強度と比較すると、28 日強度は case1 で 76%、case3 で 53%、case4 で 46%の強度であった。
- ・締固め度が 80%の場合には、さらに強度の差が大きくなり、仮置き無しと仮置き 1 日の 28 日強度比は 37%であった。ただし、締固め度 80%でも仮置き無しの場合（case5）には、締固め度 90%で仮置き 1 日（case3）より 13%強度が大きくなった。

以上のことより、最終強度を確保するためには、いかに仮置き期間（時間）を少なくして、初期強度を得るかが重要となる。

しかしながら、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柵・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。このことも強度を大きく低下させる 1 つの要因になっていると考えられる。

結果をまとめると下記の通りである。

- ☐ 仮置き期間が長いほど強度発現は悪くなる。
- ☐ 配合～配合後 1 日（仮置き 1 日）の強度低減率は、配合後 1 日～3 日の低減率を大きく上回る。
- ☐ 締固め度 80%で仮置き無しの方が、仮置き 1 日で締固め度 90%より大きな強度が得られた。このため初期強度の発現が最終強度に与える影響が大きいことがわかる。

ここで、初期強度の発現と仮置き期間の関係について考察する。

締固め度 90%、全水浸養生で仮置き期間を変えて行った 3 ケースの強度発現曲線（図-4.11）より、以下の傾向があることがわかる。

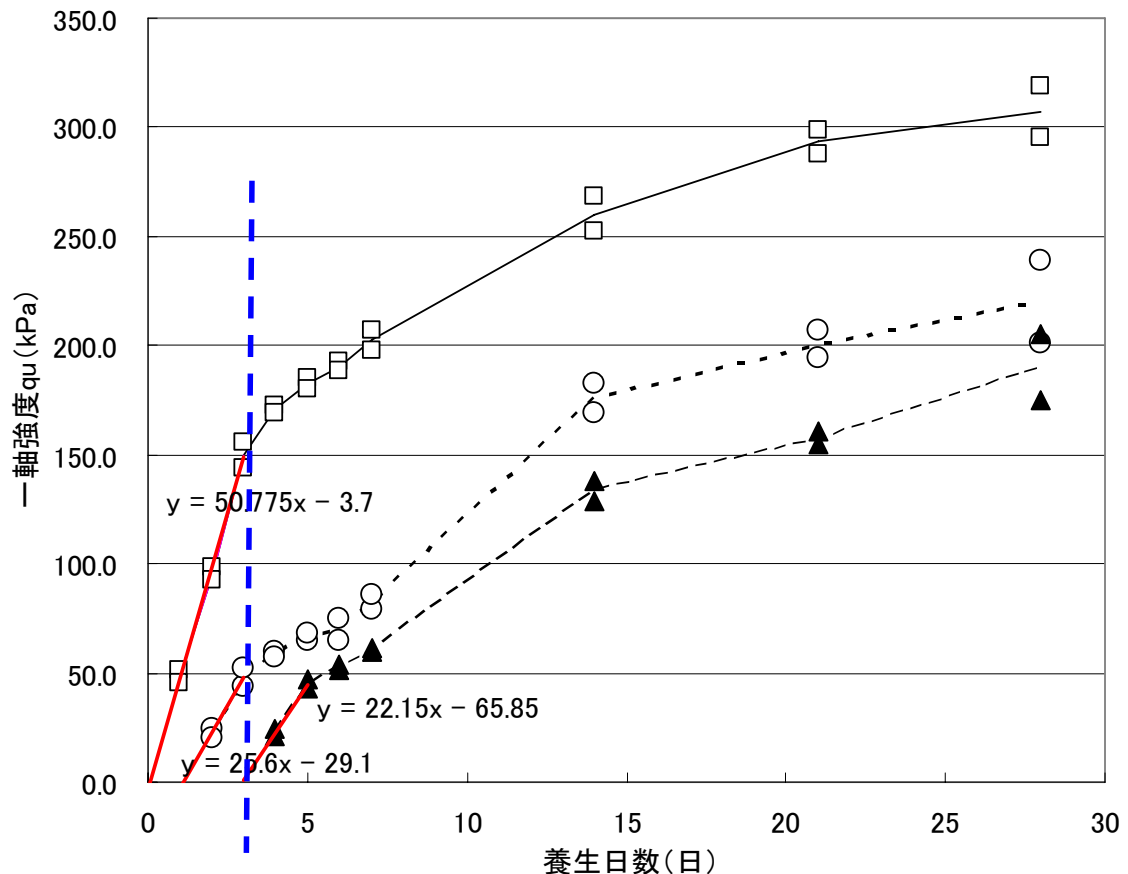


図-4.11 仮置き日数の違いと強度発現傾向

- ・ 初期強度（締め固め後、1～3日程度）の傾きを線形近似で表すと締め固め日において強度が0となる。よって、強度発現は締め固め直後から生じると考えられる。
- ・ 初期強度は、締め固め日によらずセメント配合日から3日目まで直線的に急増し、この期間中はセメント配合日から締め固めまでの期間が短いほど強度の発現が大きい。
- ・ 配合から3日目以降は、仮置き期間に関わらず各ケースとも同様な強度増加勾配を示す。このため配合から3日目までに生じた強度差は、その後の養生期間を通じてあまり変わらない。

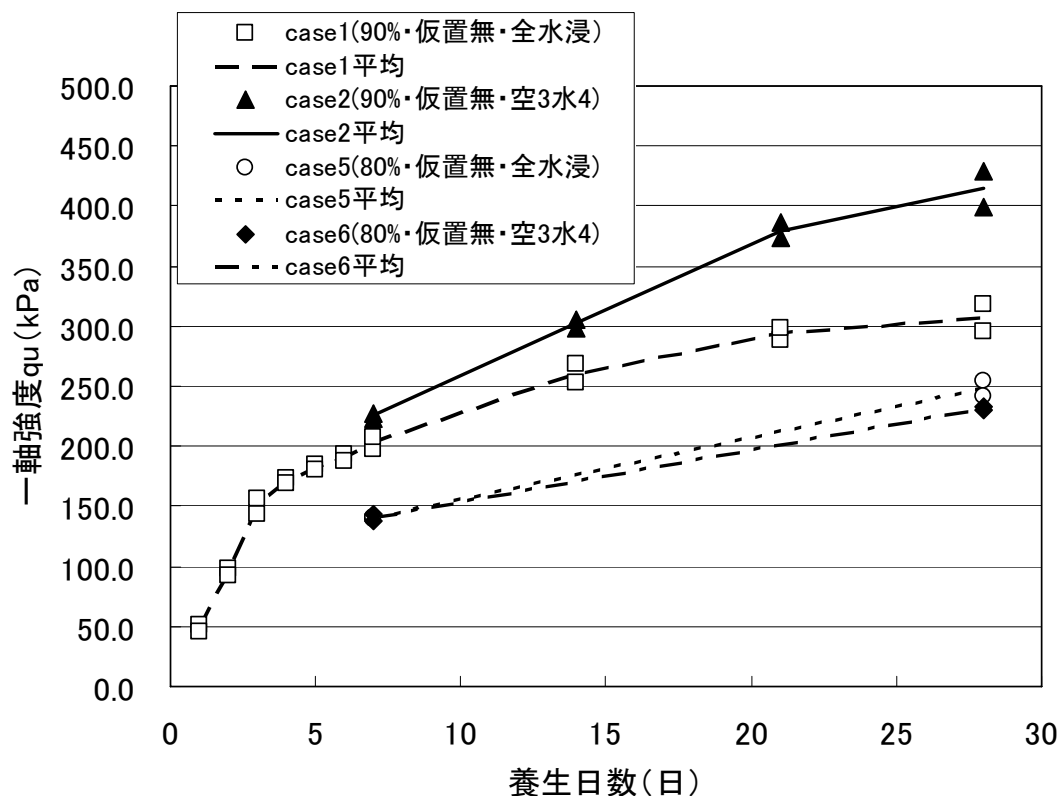
初期の強度発現とその後の強度発現の違いは、セメント構成物質毎の水和反応速度の違いによって生じていると考えられる。

仮置き時間が長いと、配合初期に生じる水和反応による強度発現の効果が得られなくなる（解きほぐしにより、初期に得られた強度が無効となる）ため、最終強度に大きな差が生じると考えられる。

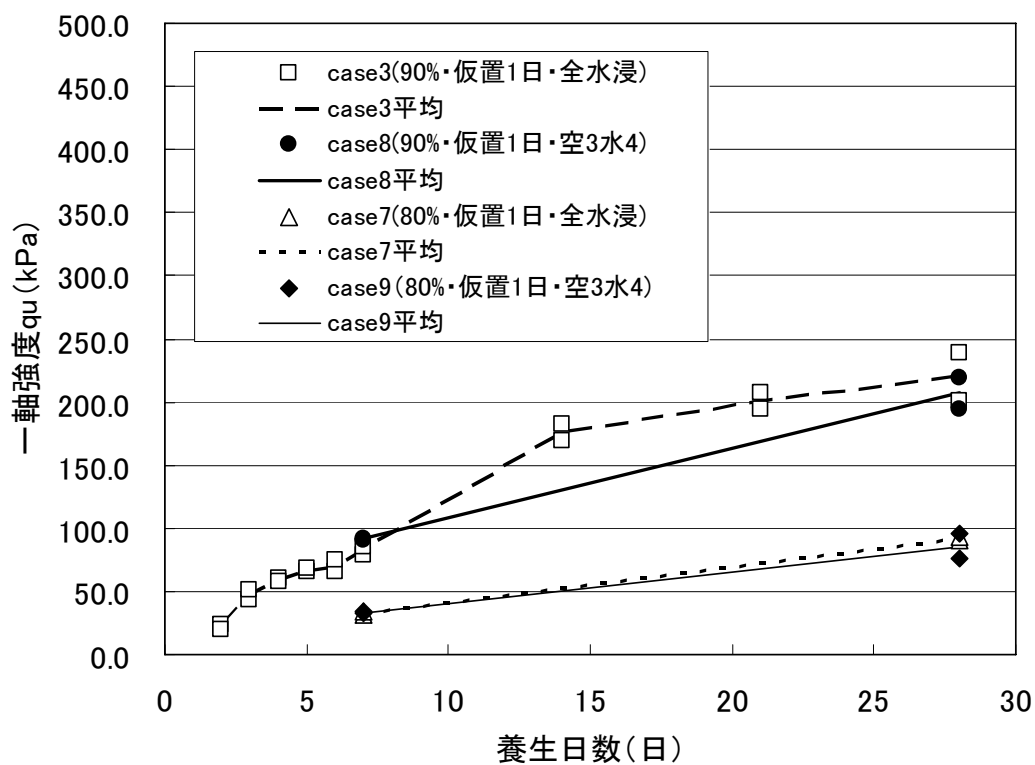
初期強度発現に寄与した水和反応が配合後3日程度で終了した後は、遅れて発現する水和反応による強度増加が各ケースとも同様に生じるため、その後の強度勾配はほぼ同じものとなっていると考えられる。

4) 締固め度の違いによる強度発現傾向

締固め度の違いによる強度発現の傾向を図－4.12 に示す。



図－4.12 締固め度の違いによる発現強度（仮置き無し）



図－4.13 締固め度の違いによる発現強度（仮置き1日）

表-4.11 試験結果（詳細データ）

養生 (日)	仮置き無し				仮置き1日			
	全水浸		空中3日水浸4日		全水浸		空中3日水浸4日	
	90%	80%	90_%	80%	90_%	80%	90_%	80%
	qu(kPa)	qu(kPa)	qu(kPa)	qu(kPa)	qu(kPa)	qu(kPa)	qu(kPa)	qu(kPa)
	case1 平均	case5 平均	case2 平均	case6 平均	case3 平均	case7 平均	case8 平均	case9 平均
1	48.35							
2	95.3				22.1			
3	149.9				47.7			
4	170.95				58.75			
5	182.4				66.85			
6	190.45				70.05			
7	202.45	140.4	225.15	140	82.15	32.85	91.55	33.1
14	260.35		301.95		175.8			
21	293.4		379.8		200.6			
28	307.1	248	414.6	231.45	220.2	91.85	206.85	85.9
	28日 強度比	0.81	28日 強度比	0.56	28日 強度比	0.42	28日 強度比	0.42
		case5/case1		case6/case2		case7/case3		case9/case8

試験結果をまとめると以下の通りである。

- ・仮全体に締固め度が低いほど強度発現が悪い傾向が確認された。
 - ・仮置き無しの場合には、全水浸養生では、締固め度 80%の強度は、締固め度 90%の強度に対して 79%の強度であった。
 - ・空中 3 日水浸 4 日養生では、締固め度 80%の強度は、締固め度 90%の強度に対して 56%の強度となり、全水浸養生の場合より影響が大きかった。これは締固め度 80%では養生方法による強度の違いが小さいためである。
 - ・仮置き 1 日の場合には、全水浸養生、空中 3 日水浸 4 日養生とも、締固め度 80%の強度は、締固め度 90%の強度に対して 42%の強度であった。
 - ・同じ仮置き条件では、締固め度 90%の強度に対して締固め度 80%の強度は 42%～56%（空中 3 日水浸 4 日養生）であった。
 - ・仮置き無しで締固め度 80%（case5）の強度は、仮置き 1 日の 90%強度（case3, case8）より高い強度となった。
- 結果をまとめると下記の通りである。

☐ 締固め度が低いほど強度発現が悪い（20～60%の強度低下）。

☐ 締め固めを十分行うことにより、養生方法や仮置き有無に関わらず 200 k P a 以上の強度が得られた。

※注意）本報告書におけるセメント配合量・土の種類等に基づく結果であり、これらが変化すれば得られる強度も変化することに注意が必要である。

4.3 セメント系改良土の仮置き許容時間に関する試験

(1) 試験目的

4.2 の試験結果より、セメント系改良土の強度発現には、セメント添加後の仮置きが影響を与えていることが明らかとなった。

改良土の仮置きが発生する理由としては、改良土の作り置きや埋め戻し時の車上待機があるほか、プラント等の改良土製造場所から施工現場までの運搬も仮置きとして扱うことができる。

ここでは、仮置きが許容される時間（以下、「許容仮置き時間」という。）を明らかにするための試験を行うものである。

(2) 試験方法

試験に使用した材料及び供試体作成方法、試験項目については、4.2 の試験と同様の方法で実施した。

(3) 試験条件と試験ケース

仮置き無しと仮置き1日の間の仮置き時間による強度発現傾向の違いを確認するため、下記の4ケースの仮置き時間を設定する（表－4.12参照）。

- ①混練り後、仮置き1時間
- ②混練り後、仮置き3時間
- ③混練り後、仮置き6時間
- ④混練り後、仮置き12時間

その他の試験条件は以下の通り。

- ・仮置き期間中の養生温度：20℃±3℃
- ・仮置き後の養生方法：全水浸養生
- ・締め固め度：90%以上

表－4.12 許容仮置き時間に関する試験ケース一覧

試験目的	試験条件	ケース	セメント配合からの経過日数(○:一軸圧縮試験)								
			0日	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	28日
許 容 仮 置き時間 の推定	仮置き 1hr	case10	—	—	○	○	—	○	—	○	○
	仮置き 3hr	case11	—	—	○	○	—	○	—	○	○
	仮置き 6hr	case12	—	—	○	○	—	○	—	○	○
	仮置き 12hr	case13	—	—	○	○	—	○	—	○	○

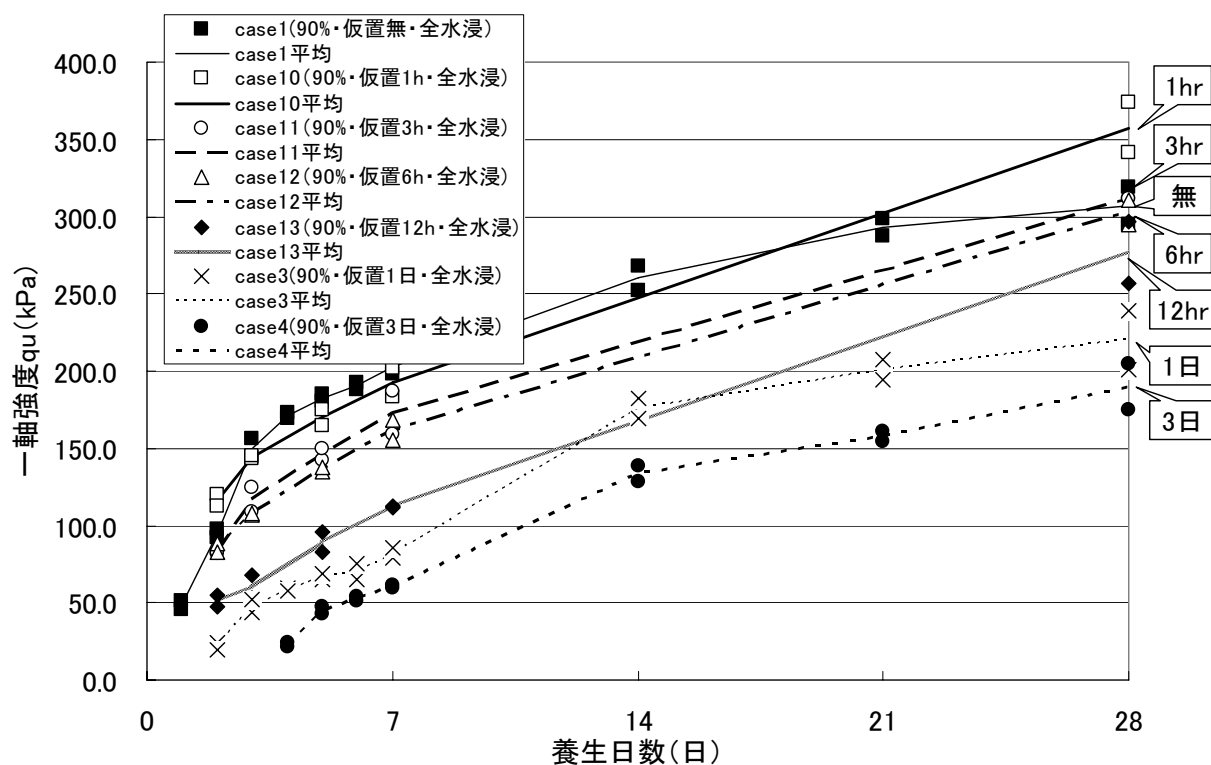
※全試験共通条件：全水浸養生、締め固め度 90%

(4) 試験結果

試験結果を、表－4.13、図－4.14 に示す。

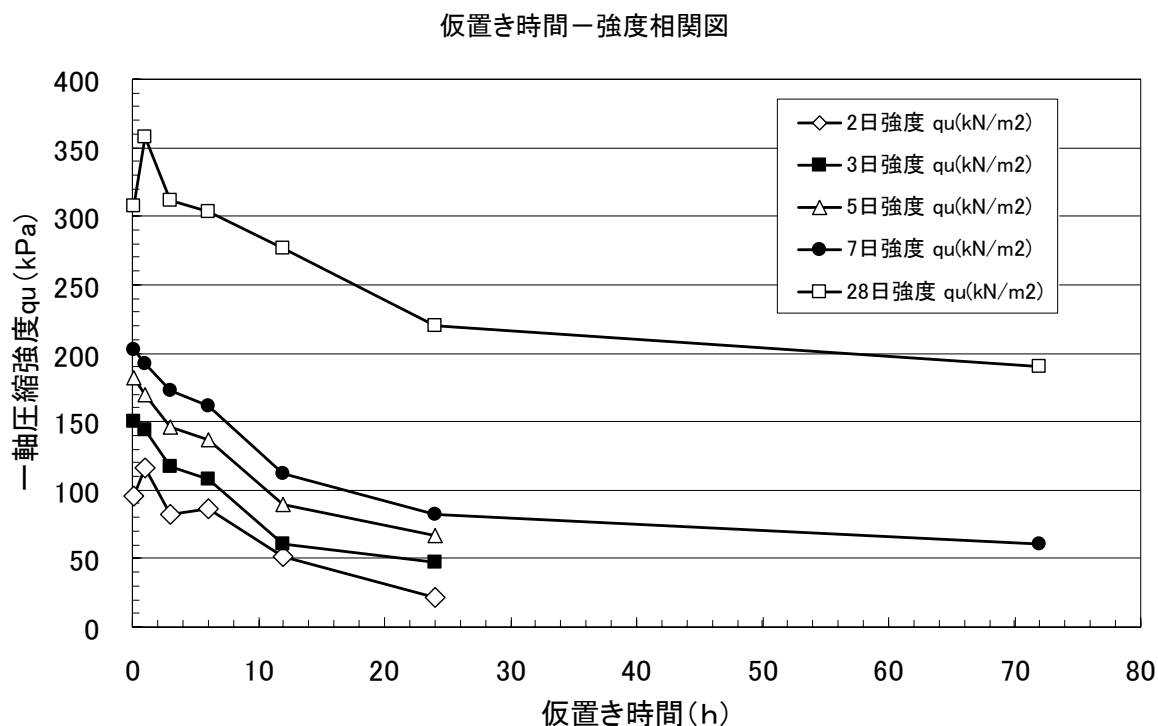
表－4.13 許容仮置き時間に関する試験結果一覧

養生 日数	case10(仮置き1h)				養生 日数	case11(仮置き3h)				養生 日数	case12(仮置き6h)				養生 日数	case13(仮置き12h)			
	ρt (g/cm ³)	$w n$ (%)	$q u$ (kN/m ²)	日		ρt (g/cm ³)	$w n$ (%)	$q u$ (kN/m ²)	日		ρt (g/cm ³)	$w n$ (%)	$q u$ (kN/m ²)	日		ρt (g/cm ³)	$w n$ (%)	$q u$ (kN/m ²)	日
1	---	---	---	---	1	---	---	---	---	1	---	---	---	---	1	---	---	---	---
2	1.899 1.907	19.3 20.1	120.0 113.0	19.7	2	1.912 1.914	20.5 20.8	82.2 83.2	82.7	2	1.889 1.903	19.8 20.1	88.8 83.1	86.0	2	1.909 1.900	20.4 19.9	47.9 54.8	51.4
3	1.903 1.902	19.9 19.5	143.0 145.0	19.7	3	1.913 1.915	20.3 21.9	109.0 125.0	117.0	3	1.906 1.908	20.0 19.8	107.0 108.0	107.5	3	1.909 1.891	20.6 19.2	53.1 68.2	60.7
4	---	---	---	---	4	---	---	---	---	4	---	---	---	---	4	---	---	---	---
5	1.899 1.904	19.2 19.9	165.0 175.0	20.0	5	1.912 1.911	20.6 20.3	142.0 150.0	146.0	5	1.904 1.900	20.1 19.9	135.0 138.0	136.5	5	1.895 1.907	19.6 20.1	95.9 83.2	89.6
6	---	---	---	---	6	---	---	---	---	6	---	---	---	---	6	---	---	---	---
7	1.906 1.904	19.9 19.9	202.0 183.0	19.9	7	1.915 1.900	20.5 19.7	159.0 187.0	173.0	7	1.906 1.899	20.3 19.5	155.0 168.0	161.5	7	1.903 1.908	19.9 20.3	112.0 113.0	112.5
14	---	---	---	---	14	---	---	---	---	14	---	---	---	---	14	---	---	---	---
21	---	---	---	---	21	---	---	---	---	21	---	---	---	---	21	---	---	---	---
28	1.908 1.914	20.2 20.4	374.0 341.0	20.3	28	1.912 1.920	20.7 20.8	312.0 312.0	312.0	28	1.911 1.913	20.5 20.5	311.0 295.0	303.0	28	1.919 1.922	20.8 20.9	297.0 257.0	277.0



図－4.14 許容仮置き時間に関する試験結果

仮置き時間と材令毎の一軸圧縮強度の相関図を図－4.15 に示す。



図－4.15 許容仮置き時間に関する試験結果

試験結果より、仮置き時間と強度発現傾向の関係は次の通り整理できる。

- ・ 仮置き時間と一軸圧縮強度の関係は、全体的に見ると概ね一定の相関関係が認められ、仮置き時間が長いほど強度が低下する傾向が認められる。
- ・ 仮置き 0h～仮置き 6h までは、仮置き時間と強度発現傾向にバラツキがあり、全体傾向（仮置き時間が長いほど強度が低下する）に対して逆の結果が一部で認められたが、これは、配合後 6 時間までは強度発現傾向にムラがあり、わずかな供試体のバラツキが強度に大きく影響して仮置き時間と強度の関係を不明瞭にしているためと考えられる。

強度低下の傾向が変化する時点を勾配変化から推定するため、下記の式より強度低下勾配を算出する。

◆ 強度低下勾配＝強度低下量／仮置き時間差

表－4.14 仮置き時間差に対する強度低下勾配

強度低下勾配 (kPa/h)							
勾配計算 区間(仮置 き時間)	養生 2 日	養生 3 日	養生 5 日	養生 7 日	養生 28 日	平均勾配	標準偏差
	強度低下 勾配	強度低下 勾配	強度低下 勾配	強度低下 勾配	強度低下 勾配		
0～1h	23.56	-6.56	-13.78	-11.06	56.06	9.64	29.9
1h～3h	-16.90	-13.50	-12.00	-9.75	-22.75	-14.98	5.1
3h～6h	1.08	-3.17	-3.17	-3.83	-3.00	-2.42	2.0
6h～12h	-5.77	-7.81	-7.83	-8.17	-4.33	-6.78	1.7
12h～24h	-2.44	-1.08	-1.89	-2.53	-4.73	-2.53	1.4
24h～72h				-0.45	-0.63	-0.54	0.1

強度低下勾配の算出結果を整理すると下記の通りとなる。

- ・ 仮置き 0h～1h、仮置き 1h～3h は勾配のバラツキが大きく傾向が不明確であった。
- ・ 仮置き 3h～仮置き 72h 間では、ほとんどの養生日数で仮置き 6h～12h 間の強度低下勾配が最も大きくなった。養生 28 日では、仮置き 6h～12h と仮置き 12h～24h はほぼ同じ強度低下勾配であった。

以上より、仮置き 6～24 時間の間に強度が大きく低下することが分かった。

したがって、仮置き 6 時間以上後に、解きほぐし、締固めを行うと最終強度の低下する度合いが大きくなると考えられる。

仮置き 6 時間以下では、全体的にみると仮置き時間が短いほど強度発現が大きい傾向にあるようであるが、強度発現傾向にバラツキが認められ、配合土のバラツキの影響も大きいと考えられる。