

セメント系固化材を用いた改良体の
長期安定性に関する研究

2002年 3 月

社団法人 セメント協会

序 に 代 え て

敗戦後の日本の建設事業に、ソイルセメントの名で、新鮮に迎え入れられた新技術の「セメントによる土質安定処理、地盤改良」が広く業界に定着して既に半世紀を経たことになる。顧みればその間、地質構成、土質、地形、気象条件がかなり先進諸国と乖離した日本にあって、真摯な試行錯誤による経験の集積に基いて、既往のマニュアルを我々なりに読み替えることで独自の技術を構成してきた。

良質な砂礫質土中に含まれている細粒分の悪影響を抑えるべく採用された道路の路床・路盤材改良のためのソイルセメント工法の導入には、特に問題はなかったものの、特に日本特有の高含水比火山灰質粘性土については、セメント添加による土質安定処理、地盤改良は、固化材と被処理土との均質な混合を期する面で絶望的に思われ、実験室での丁寧な混合された改良体についての力学的性能はある程度、判断できても、それをもとに現場の地盤での混合状態における実際の改良土を、適切に評価する術が曖昧にならざるを得ない危惧があった。

一方、特に都市土木工事では、地中構造物の埋戻しに際して、地山との狭い空間に対浸食性に優れた均質な埋戻しを行う技術として、流動性に富んだ混合処理土を均等に打設し、適度に配合・混合された固化材の硬化によって、所要な工学的性能を発揮させる形式の工法が多用される時代を迎えた。

この場合は材料分離を避けるために細粒分からなる濃い泥水が主役になり、性能を調整するための砂礫質な粗粒分と、セメント系固化材等を適度に配合した混合物を用いることになるが、均質性はこれまでの工法より、抜群に優れてはいるものの、流動性を確保するためには含水比が高くなり、相対的には混合土の密度が地盤に比し低くなる傾向にある。よって、施工時の力学的性能は満足されていても、それが永い供用期間中に十分保持され得るかが、当初から不安であった。

従って、(社)セメント協会のセメント系固化材技術専門委員会において、機会を得て粘性土を主体にした「流動化処理土」柱を実際の地盤中に打設し、少なくとも10年の経過の間、その改良体の性質の変化が観察できぬかと提案したところ、幸いに関東ローム台地中にこれ等の立派な試験柱体を打設して頂くことができた。

当時、打設後10年という時間空間が、何か、ひどく遠い、夢のような先に思えた感覚だけが懐かしく思い出されるが、今、その時間経過の成果が厚い報告書として手にさせて貰うことができた感慨は一入である。

当研究は典型的な関東ロームを解泥し、等量の一般軟弱地盤用のセメント系固化材で流動化処理した柱体を対象に、10年の性状の変化を詳細に追跡したもので、この種の記録は甚だ貴重なものと言えよう。

一軸圧縮試験結果では、相変わらず1%前後の小さな破壊歪みは示しながらも、予想通りの強度増を示しつつ安定した最終強度を目指す結果からは、取り敢えず、もしやと案じていた、劣化の傾向が見られなかったことを示しており、大いに気を強くしている。この豊富なデータについての今後の精密な精査によって、更なる信憑性を明らかにされることを期待している。

2002年3月

監修 セメント系固化材規準検討研究会
委員長 久野 悟 郎

はじめに

セメント系固化材を用いた地盤改良は、改良原理による分類では固化工法にあたり、浅層、深層を問わず軟弱地盤改良に多くの使用実績を有している。

セメント系固化材は1970年代から使用されはじめ、各種の地盤改良工法の開発に伴って、需要量が増大してきた。2000年度の需要量は約600万tに及んでおり、社会資本整備の一翼を担う材料として評価を得てきている。

しかしながら、セメント・コンクリートと比較し歴史がまだ浅いため、強度の経年変化や耐久性についての調査事例や報告は少ないのが実状である。

そこで、セメント協会ではセメント系固化材を用いた改良体の長期的な安定性を検証することを目的に、1990年にセメント系固化材技術専門委員会の前身である、当時のセメント系固化材規準検討研究会のフィールド試験WGが中心となり、現場試験施工を実施した。本試験施工においては、改良体を所定の年ごとに掘起し、強度、化学分析、X線回折などの試験を実施してきたが、このたび、10年材齢の調査を終えたので、ここに取りまとめて報告するものである。

これらの主な結果は以下のとおりである。

- ① 改良体の長期強度は、材齢2年までは増進が著しく、それ以降は長期に亘り漸増する傾向となった。
- ② 化学分析 (ig.loss、CaO、pHなど) より、CaOなどの主成分は改良体の部位によらず、経年的な変化は認められなかった。
- ③ X線回折、SEM観察等からは、セメント水和物が長期に亘って安定して存在することが確認された。

これらの結果より、セメント系固化材を用いた改良体は、長期的にも安定して高い強度を維持し続けることが確認できた。

本報告書が、セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する資料として活用されれば幸いである。

最後に、本研究の実施に際し、ご協力を頂いた各位に厚く御礼申し上げるものである。

2002年3月

セメント系固化材技術専門委員会
長期安定性WG

セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究

目 次

1. 目的	1
2. 改良体の施工	1
2.1 施工概要	1
2.2 施工方法	3
2.3 品質管理	3
3. 試験概要	4
3.1 試験材齢	4
3.2 改良体の掘起し	4
3.3 試料採取	5
3.4 試験項目	6
4. 試験結果	7
4.1 強度試験および物理試験	7
4.2 化学分析	10
4.3 X線回折	12
4.4 電子顕微鏡観察	15
5. まとめ	17
参考文献	18
資料編	19

1. 目 的

セメント系固化材を用いた各種改良土の力学的性質などについては、各方面で研究あるいはデータの蓄積がなされている^{1)~8)}ものの、長期強度や耐久性についての調査事例や報告は少ないのが実状である。セメント協会ではセメント系固化材を用いた改良体の長期的な安定性を把握するために、千葉県習志野市内において火山灰質粘性土を対象として築造した改良柱体を10年に亘り追跡調査した。

2. 改良体の施工

2.1 施工概要

試験施工の概要を表2.1に示す。対象土は火山灰質粘性土（自然含水比（ W_n ）=122.4%、湿潤密度（ ρ_t ）=1.325g/cm³）で、地下水位は改良体底面以下にある。改良体の目標一軸圧縮強さを1000kN/m²とした。改良体の施工に際しては、均一打設を図るため、アースオーガーで ϕ 450mm×H2,000mmの掘削孔を10カ所造り、モルタルミキサ（0.5m³）で対象土、水およびセメント系固化材を混練し、1バッチ（0.4m³）毎に掘削孔へ改良土を充填、その後40cm程度の覆土を施した（図2.1、写真2.1）。なお、固化材は一般軟弱土用セメント系固化材を使用した。使用固化材の化学成分を表2.2、1m³当たりの配合量を表2.3に示す。

表2.1 試験施工の概要

工 事 名 称	セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究
施 工 場 所	千葉県習志野市内
施 工 方 法	・アースオーガーおよびモルタルミキサによる混練、充填
施 工 機 種	・0.4m ³ バックホウ ・0.5m ³ モルタルミキサ ・アースオーガー（ ϕ 450mm×H2,000mm）
使 用 固 化 材	一般軟弱土用セメント系固化材
対 象 土	火山灰質粘性土（ W_n =122.4%、 ρ_t =1.325g/cm ³ ）
施 工 数 量	ϕ 450mm×H2,000mm改良体10本
目 標 強 度	q_u = 1000kN/m ²

表2.2 一般軟弱土用固化材の化学成分（%）

強熱減量 ig.loss	二酸化けい素 SiO ₂	酸化アルミニウム Al ₂ O ₃	酸化第二鉄 Fe ₂ O ₃	酸化カルシウム CaO	酸化マグネシウム MgO	三酸化硫黄 SO ₃
0.7	20.2	4.1	2.9	61.4	1.9	7.4

表2.3 1m³当たりの配合量

配合（kg/m ³ ）			水固化材比 （%）
対象土	水	固化材	262.5
600	525	200	

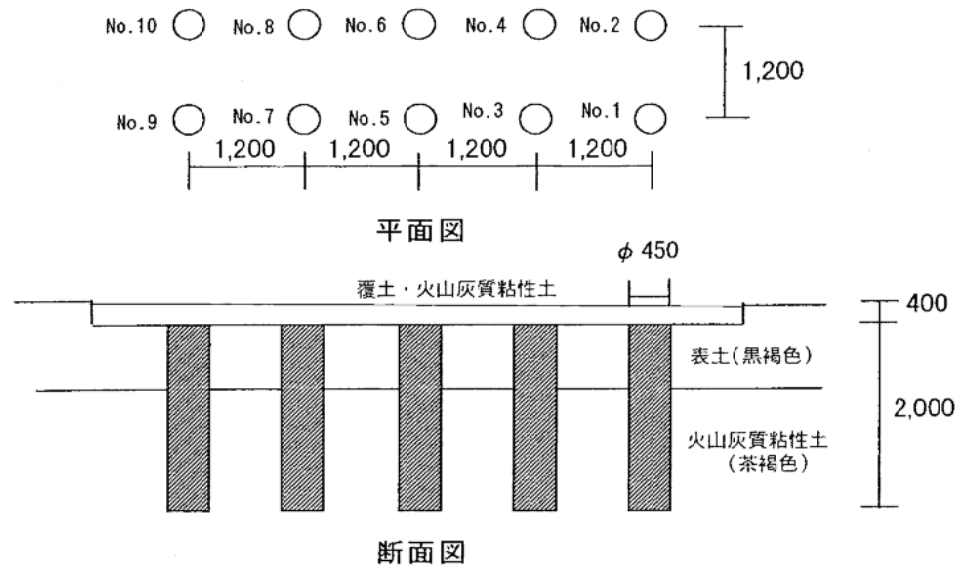


図 2.1 改良体の配置



写真 2.1 施工状況

2.2 施工方法

(1) 試験ヤードの造成

2.1 に示すように、当該施工場所の地層断面は、地表部から表土、火山灰質粘性土より構成されている。表土の3.5m×8.5mの範囲を30cm掘削・整地し、試験ヤードとした。

(2) 固化材の計量袋詰め

施工前に1tフレコンバックから個別に1袋当たり20kgを計量し、袋詰めとした。

(3) 削孔

アースオーガーにより、φ450mm×H2,000mmの掘削孔を10カ所造成した。改良1カ所当たり3回の削孔を行い、1回目は表土、2回目、3回目は火山灰質粘性土の掘削とした。

(4) 対象土の計量袋詰め

掘削した火山灰質粘性土は、1袋当たり20kgを計量し、袋詰めとした。

(5) ミキサによる混練

1バッチ0.4m³あたりの配合は表2.4に示すとおりである。ミキサへの投入順序は、水、対象土、固化材の順とした。攪拌時間は、対象土と水の混練に10分、その後固化材を投入し5分とした。なお、混練物より室内養生用の供試体を作製した。

(6) 改良土の充填

ミキサにフレキシブルホースを接続し、自然流下により掘削孔に改良土を充填した。

(7) 覆土・整地

充填後の翌日、約40cm程度の覆土を施し、整地を行った。

表2.4 1バッチ(0.4m³)当たりの配合

1バッチの配合 (kg)		
対象土	水	固化材
240 (12袋)	210	80 (4袋)

2.3 品質管理

混練物の湿潤密度とPロート流下時間で改良土の品質を管理した(写真2.2、表2.5)。

改良体No.3を除き、湿潤密度ならびにPロート流下時間に大きなバラツキは認められなかった。なお、No.3は、配合量に誤りがあったことが判明したため、試験から除いた。

表2.5 品質管理試験結果

改良体 No.	湿潤密度 (g/cm ³)	Pロート流下時間 (秒)
1	1.344	11.04
2	1.346	11.28
3	1.303	9.61
4	1.336	10.53
5	1.366	12.45
6	1.359	11.08
7	1.356	11.66
8	1.346	12.73
9	1.350	11.91
10	1.333	11.29



①湿潤密度測定



②Pロート流下時間測定

写真 2.2 施工時の品質管理

3. 試験概要

3.1 試験材齢

試験材齢は、1ヶ月、6ヶ月、1年、2年、3年、5年、7年、10年とした。試験材齢に対応する改良体No.は図2.1、表3.1のとおりである。

3.2 改良体の掘起し

改良体の掘起しは、所定材齢時に1改良体ずつ行い、バックホウおよび人力により掘削し、帯ロープをかけバックホウで吊り上げた（写真3.1）。掘起した改良体の出来型を確認した後、試験所へ搬入した。



①埋設場所の掘削



②改良体の掘削・吊り上げ



③出来型の確認

写真 3.1 改良体の掘起し

3.3 試料採取

φ450mm×H2,000mmの改良体を縦方向に4分割し、図3.1に示す位置から試料を採取し、諸試験に供した。その中で、分析用試料の表面部（A-Su）および側面部（A-Si）においては覆土を削り落とし、深さ方向および中心方向にそれぞれ1、5、10cmの箇所を試料とした。なお、試料は、図3.1の下に示す記号で表している。

表3.1 試験材齢に対応する改良体

材 齢	改良体No.
28 日	1
6 ヶ月	2
1 年	4
2 年	5
3 年	6
5 年	7
7 年	8
10 年	9
予 備	10

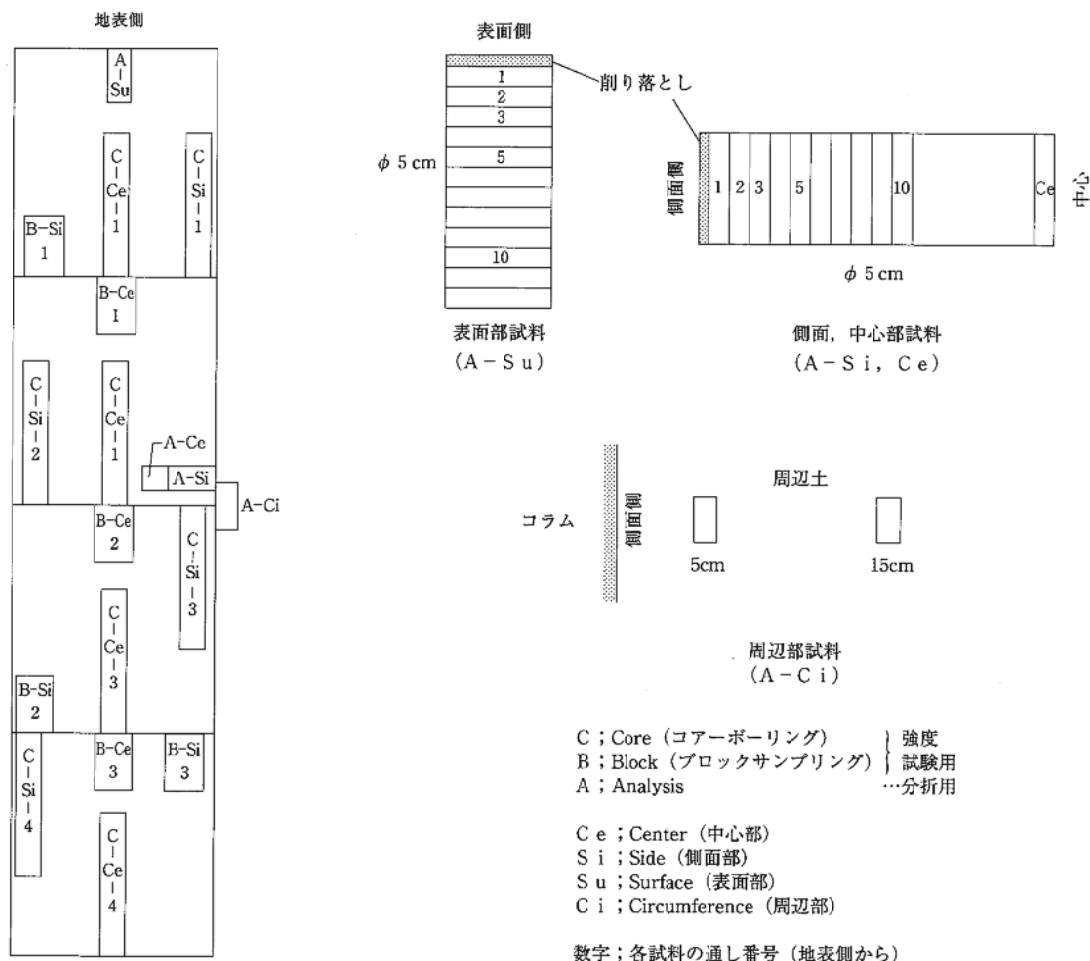


図3.1 改良体からの試料採取位置

(1) コアボーリング

φ50mmの口径でコアボーリングを行った(写真3.2)。採取長さは300mm以上とした。

(2) ブロックサンプリング

鋸で改良体に切込みを入れた後、ブロック状に試料を切出し、トリマーを用いてφ50mm×H100mmの供試体に成形した。

(3) 室内養生供試体(品質管理供試体)

改良体との比較のため、施工時に管理用供試体(φ50mm×H100mm)を採取し、当該材齢まで試験室内で密封養生ならびに水中養生(密封7日、以後水中)を行った。



写真3.2 コアボーリングによる試料採取

3.4 試験項目

試験は、強度試験、物理試験および化学分析とした。主な試験項目を表3.2に示す。

表3.2 主な試験項目

試験項目		準拠規格
強度試験	一軸圧縮強さ	JIS A 1216 (土の一軸圧縮試験方法)
	破壊ひずみ	
物理試験	含水比	JIS A 1213 (土の含水比試験方法)
	湿潤密度	JIS A 1225 (土の湿潤密度試験方法)
化学分析	強熱減量	JIS A 1226 (土の強熱減量試験方法)
	カルシウム含有量他 主要化学成分	JCAS* I - 12 (けい酸質原料の化学分析方法)
	pH	JGS 0211 (土懸濁液のpH試験方法)
機器分析	X線回折	—
	電子顕微鏡 (SEM観察)	—

*JCAS：セメント協会標準試験方法

4. 試験結果

4.1 強度試験および物理試験

(1) 室内養生供試体

各材齢における室内養生供試体の試験結果を図4.1～4.3、表4.1に示す。一軸圧縮強さは密封、水中養生ともに、材齢2年までは増加傾向を示し、材齢28日から材齢2年にかけて3倍程度強度が増進した。しかし、その後の強度増加はほとんどなく、密封養生供試体は多少の上下変動はあるものの、ほぼ横ばいの強度値であったが、水中養生供試体は若干の低下傾向を示した。水中養生供試体の強度が低下傾向を示す原因としては、供試体寸法が $\phi 50\text{mm} \times H100\text{mm}$ と小さいことにより、供試体表面からのカルシウム (CaO) 分の溶脱等による影響と推察される。

一方、湿潤密度および含水比については、密封養生の材齢5年を除き、材齢による経時変化はあまり見られなかった。また、湿潤密度、含水比は密封養生に比べ水中養生の方が高い傾向を示した。なお、材齢10年の室内水中養生供試体は養生方法に不手際があり、試験が実施できなかった。

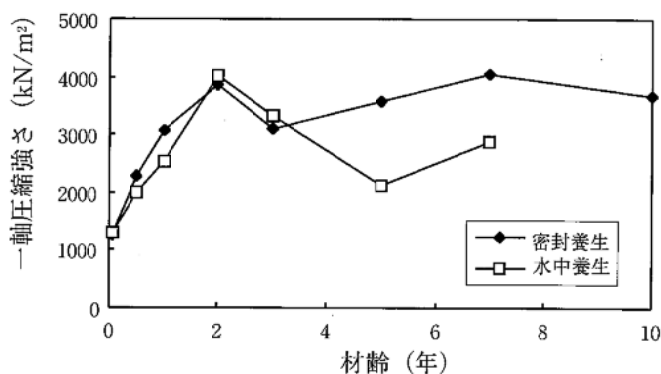


図4.1 室内養生供試体の一軸圧縮強さの経時変化

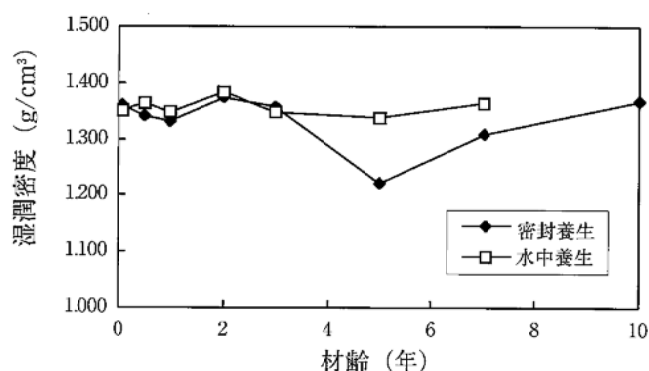


図4.2 湿潤密度の経時変化

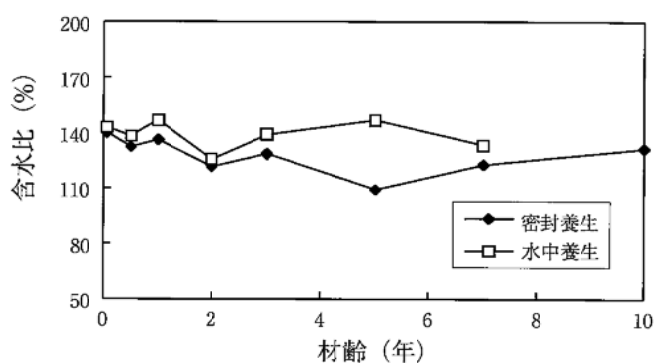


図4.3 含水比の経時変化

表 4.1 室内養生供試体の一軸圧縮試験結果

材 齢	養生	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
1 カ月	密封	1280	1.24	1.360	140.1
	水中	1289	1.16	1.351	143.1
6 カ月	密封	2291	0.62	1.340	132.1
	水中	1984	0.66	1.363	137.8
1 年	密封	3063	0.85	1.331	135.8
	水中	2533	1.07	1.348	147.0
2 年	密封	3847	0.72	1.373	121.7
	水中	4024	0.77	1.384	125.4
3 年	密封	3092	0.76	1.357	128.5
	水中	3311	0.77	1.348	139.5
5 年	密封	3566	1.30	1.221	109.3
	水中	2122	1.23	1.339	146.5
7 年	密封	4044	0.86	1.308	122.6
	水中	2870	0.91	1.363	132.9
10年	密封	3660	0.65	1.368	131.7
	水中	—	—	—	—

(2) 現場供試体

各材齢における改良体から採取した供試体の試験結果を図 4.4～4.6、表 4.2 に示す。一軸圧縮強さは材齢 2 年までは増加傾向を示し、その後は 10 年まで多少の変動はあるものの、横ばいもしくは漸増する傾向を示した。材齢 3 年で多少強度値が下がっているが、この原因として、築造した 10 本の改良体はすべて同一配合であるものの、1 バッチ (0.4m³) 毎の施工であったため、バッチ間にバラツキが生じたためと推察される。また、現場供試体と室内養生の密封供試体の差はほとんど認められなかった。この理由として、ミキサによる完全な混合と締固め不要の材料配合により均質な改良体が形成されたものと思われる。改良体の採取位置の比較において、材齢 2 年程度までは端部の方が中心部よりやや大きい傾向があるが顕著な差は認められなかった。ブロック供試体では、端部と中心部で差はなく、また、コア供試体と比較して大きな差は認められなかった。なお、湿潤密度および含水比は、経年経過による明確な傾向は認められず、各材齢、採取位置によって変動がみられ、一軸圧縮強さ同様、バッチ間のバラツキによるものと推察される。

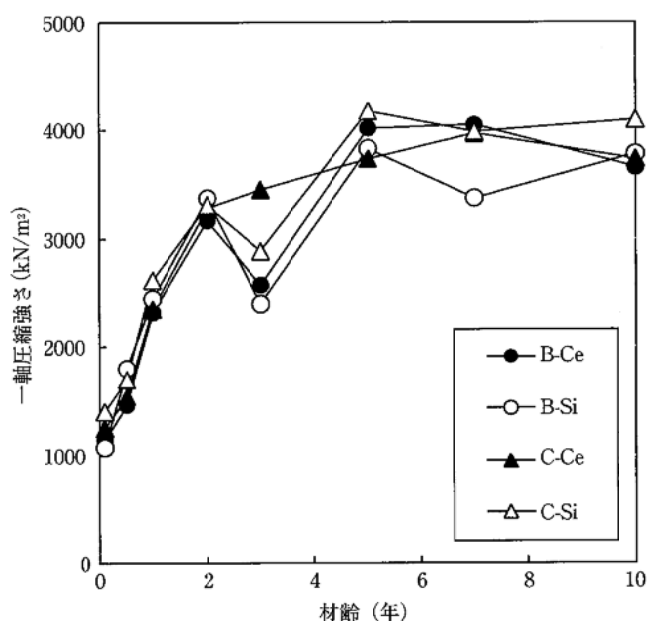


図 4.4 改良体の一軸圧縮強さの経時変化

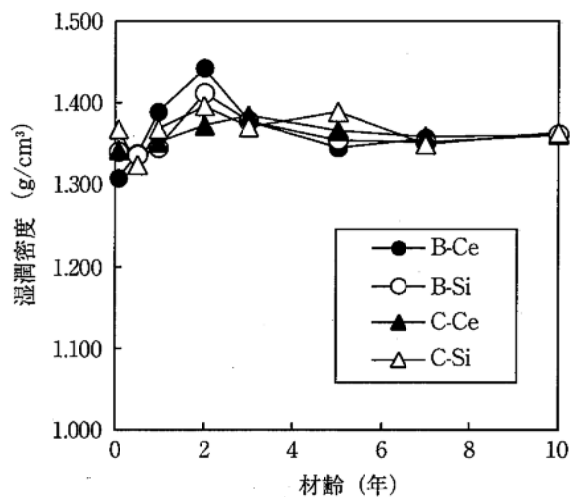


図 4.5 湿潤密度の経時変化

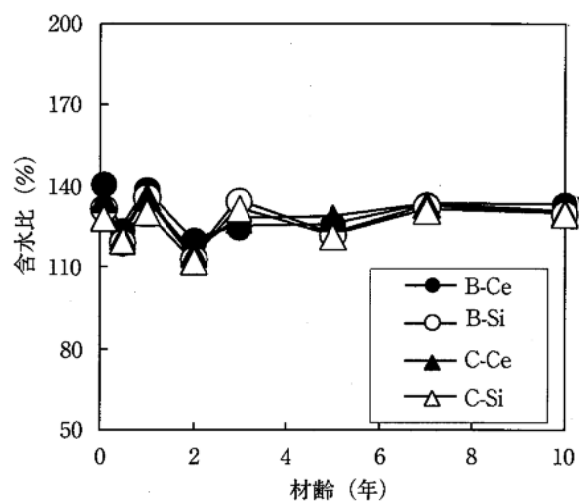


図 4.6 含水比の経時変化

表 4.2 改良体の一軸圧縮試験結果

養生	略号	項目	1ヶ月	6ヶ月	1年	2年	3年	5年	7年	10年
現場	B-Ce	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	1132	1461	2324	3177	2573	4017	4047	3654
		湿潤密度 (g/cm ³)	1.328	1.308	1.338	1.390	1.443	1.377	1.344	1.357
		含水比 (%)	140.5	123.2	138.3	119.7	124.9	125.5	133.2	132.8
	B-Si	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	1066	1801	2439	3377	2396	3828	3378	3780
		湿潤密度 (g/cm ³)	1.341	1.335	1.346	1.411	1.377	1.355	1.352	1.361
		含水比 (%)	131.6	118.8	135.9	113.0	134.4	121.7	132.2	129.3
	C-Ce	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	1246	1538	2353	3280	3453	3740	3979	3734
		湿潤密度 (g/cm ³)	1.342	1.323	1.351	1.372	1.384	1.366	1.358	1.360
		含水比 (%)	134.9	121.4	135.6	115.3	127.3	128.4	133.0	130.3
	C-Si	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	1404	1701	2622	3306	2880	4182	3983	4103
		湿潤密度 (g/cm ³)	1.368	1.324	1.368	1.395	1.370	1.388	1.350	1.364
		含水比 (%)	128.2	120.1	130.3	112.3	131.9	121.3	131.2	129.3

4.2 化学分析

表4.3に各材齢の化学分析結果、図4.7～4.9に強熱減量 (ig.loss)、カルシウム含有量 (CaO)、pHの経時変化を示す。改良体中の強熱減量は材齢ごとに異なっているが、カルシウム含有量は施工後からほぼ22～23%であり、採取位置による差は認められなかった。また、周辺土も採取位置の相違による差はほとんどなかった。ただし、CO₂については改良体の上端面から採取した試料 (Su-1) が他に比べて大きな値を示した。後述するX線回折の結果では炭酸カルシウムのピークが認められていることから、炭酸化が進行したものと考えられる。改良体から採取した試料のpHは、施工直後では11.5を超え、材齢5年程度までは変化がみられなかった。しかし、その後、低下傾向がみられ、材齢10年では10.5程度となった。改良体周辺土 (Ci-5、Ci-15) および未改良土のpHについては、施工後より8程度であり、改良体からのCa(OH)₂の溶脱を判断できる値ではない。その他の化学成分については、材齢経過による変化は認められなかった。

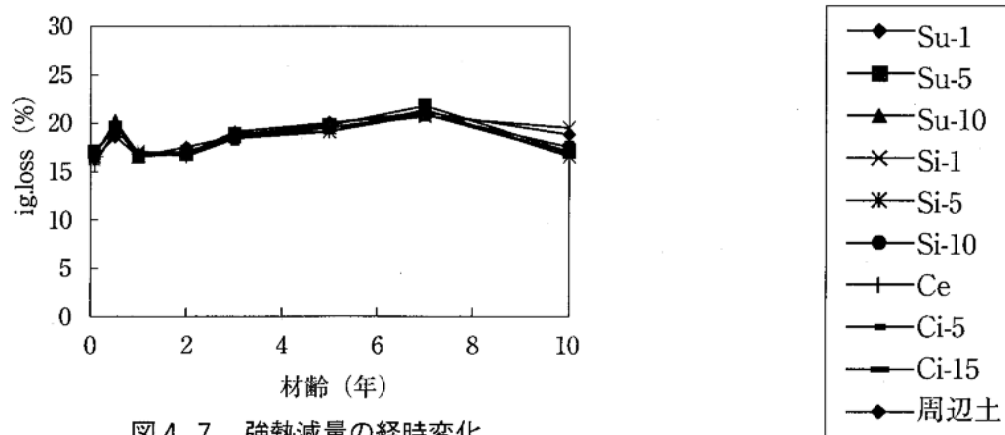


図4.7 強熱減量の経時変化

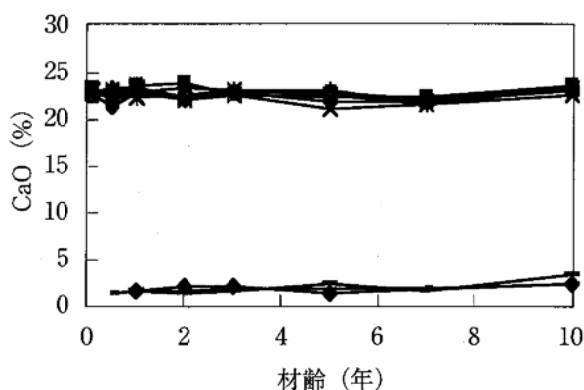


図4.8 カルシウム含有量の経時変化

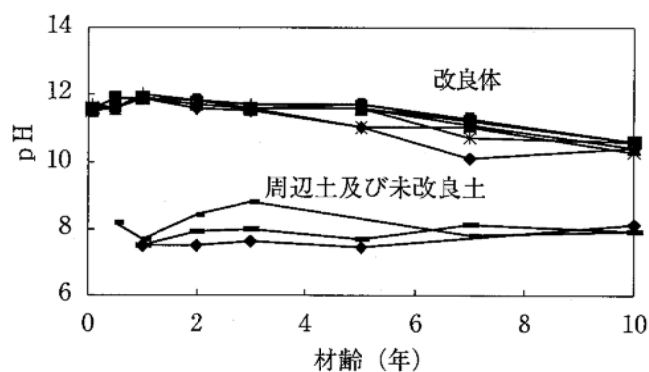


図4.9 pHの経時変化

表 4.3 化学分析結果

試料	材 齢	化学成分 (%)									pH	水分(%) 含水率
		ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂		
Su-1	1ヵ月	16.3	—	—	—	22.4	—	—	—	3.4	11.6	55.6
	6ヵ月	18.6	—	—	—	21.2	—	—	—	2.5	11.6	52.0
	1 年	16.5	30.1	14.6	8.2	22.8	2.3	0.38	0.44	2.2	11.9	56.1
	2 年	17.5	30.0	14.5	8.2	22.1	2.5	0.40	0.43	3.4	11.6	56.0
	3 年	18.6	30.0	17.0	7.5	22.7	2.3	0.60	0.56	2.0	11.5	56.2
	5 年	20.0	28.2	14.7	8.0	21.7	2.1	0.34	0.40	2.4	11.0	56.9
	7 年	21.2	27.3	15.9	7.5	21.7	2.0	0.40	0.53	2.0	10.1	57.1
Su-5	10 年	18.9	28.6	15.5	7.7	22.9	2.1	0.40	0.49	7.7	10.4	55.1
	1ヵ月	17.0	29.1	14.4	8.5	23.2	2.3	0.44	0.56	3.9	11.6	59.7
	6ヵ月	19.5	29.0	14.9	8.0	22.1	2.2	0.37	0.56	2.4	11.9	52.7
	1 年	16.7	29.4	14.7	8.1	23.4	2.2	0.45	0.52	2.2	11.9	58.8
	2 年	16.9	29.2	14.8	8.1	23.7	2.0	0.45	0.52	3.1	11.7	55.5
	3 年	18.9	29.6	16.2	7.8	22.4	2.3	0.60	0.57	2.1	11.6	57.2
	5 年	19.8	28.4	14.8	8.0	22.3	2.2	0.36	0.44	2.8	11.6	57.0
Su-10	7 年	21.8	27.1	15.6	7.5	22.3	1.9	0.30	0.35	2.5	11.2	57.0
	10 年	17.0	29.4	15.7	7.9	23.4	2.2	0.36	0.42	3.2	10.6	55.1
	1ヵ月	16.5	—	—	—	22.8	—	—	—	3.2	11.6	58.3
	6ヵ月	20.2	—	—	—	23.2	—	—	—	3.0	11.9	53.4
	1 年	16.9	29.8	14.7	8.0	23.3	2.2	0.45	0.54	2.2	11.9	58.5
	2 年	16.8	31.1	14.7	8.1	22.2	2.5	0.44	0.54	2.8	11.8	55.3
	3 年	19.0	29.2	15.8	7.4	22.8	2.1	0.57	0.54	1.9	11.6	57.0
Si-1	5 年	19.9	28.6	14.9	8.1	22.7	2.2	0.41	0.49	2.8	11.6	57.0
	7 年	21.0	26.8	15.7	7.4	22.1	2.2	0.35	0.41	2.7	11.1	56.2
	10 年	17.0	29.4	15.5	7.9	23.4	2.2	0.38	0.47	3.4	10.4	55.5
	1ヵ月	17.0	—	—	—	22.9	—	—	—	3.6	11.5	58.1
	6ヵ月	19.6	—	—	—	22.9	—	—	—	2.7	11.6	49.4
	1 年	16.9	29.9	14.9	8.2	23.3	2.2	0.38	0.47	2.4	11.9	53.3
	2 年	17.1	30.7	14.7	8.4	22.1	2.8	0.40	0.48	3.2	11.7	55.5
Si-5	3 年	18.6	29.1	15.1	7.9	22.4	2.1	0.74	0.52	1.9	11.6	57.2
	5 年	19.5	29.3	15.0	8.2	21.0	2.3	0.34	0.39	3.3	11.0	50.7
	7 年	20.6	27.4	15.4	7.3	21.4	2.1	0.31	0.35	2.6	11.0	55.9
	10 年	19.6	28.6	15.0	7.7	22.5	2.2	0.34	0.40	2.5	10.3	53.6
	1ヵ月	16.9	29.2	14.5	8.6	23.1	2.3	0.43	0.54	3.5	11.5	58.7
	6ヵ月	19.5	29.0	14.9	8.0	22.7	2.2	0.35	0.56	2.5	11.6	53.3
	1 年	17.0	30.7	15.4	8.4	22.2	2.3	0.42	0.51	2.2	11.9	57.0
Si-10	2 年	16.9	30.3	15.0	8.1	22.6	2.8	0.43	0.48	2.8	11.7	55.8
	3 年	18.9	29.0	15.2	8.0	23.0	2.1	0.88	0.44	2.0	11.6	56.2
	5 年	19.1	28.8	15.0	8.1	22.6	2.2	0.37	0.42	2.6	11.6	54.7
	7 年	21.3	27.1	15.5	7.4	21.6	2.2	0.35	0.40	4.1	10.7	57.0
	10 年	16.7	29.9	15.9	7.8	23.2	2.2	0.38	0.43	3.4	10.6	54.9
	1ヵ月	16.9	—	—	—	22.6	—	—	—	3.3	11.5	58.9
	6ヵ月	19.5	—	—	—	22.5	—	—	—	2.6	11.6	54.6
Ce	1 年	16.7	29.6	15.3	8.2	23.2	2.2	0.39	0.51	2.3	11.9	57.1
	2 年	16.9	30.6	14.9	8.1	22.2	2.5	0.41	0.54	2.9	11.8	55.1
	3 年	18.5	29.1	15.8	7.7	22.8	2.1	0.64	0.51	2.0	11.6	57.0
	5 年	19.6	28.7	14.8	8.0	22.7	2.2	0.36	0.44	2.6	11.7	57.4
	7 年	20.8	28.9	15.5	7.4	21.9	2.1	0.37	0.45	2.8	11.3	57.6
	10 年	17.4	29.3	15.6	7.8	23.1	2.2	0.40	0.48	3.8	10.6	55.1
	1ヵ月	15.7	29.6	14.6	8.7	23.1	2.4	0.48	0.59	2.6	11.7	59.9
Ci-5	6ヵ月	19.3	28.9	15.5	8.1	22.0	2.2	0.38	0.60	2.5	11.6	54.3
	1 年	17.1	30.3	15.0	8.3	22.8	2.3	0.43	0.56	2.3	12.0	58.4
	2 年	16.6	30.5	15.2	8.2	23.2	2.4	0.50	0.54	2.2	11.8	55.7
	3 年	18.5	28.7	15.5	7.6	23.1	2.1	0.80	0.55	2.4	11.7	56.6
	5 年	19.2	28.9	14.7	8.0	22.9	2.2	0.41	0.51	2.6	11.7	56.7
	7 年	21.0	27.2	15.7	7.4	21.6	2.2	0.39	0.46	2.4	11.2	57.3
	10 年	16.8	29.8	15.5	7.9	23.2	2.2	0.41	0.49	3.9	10.6	55.4
Ci-15	6ヵ月	19.7	31.8	27.2	14.6	1.3	3.0	0.40	0.61	0.2	8.2	54.9
	1 年	15.5	35.1	27.7	14.6	1.4	3.5	0.53	0.43	0.2	7.7	55.7
	2 年	15.4	35.1	27.5	14.9	1.5	3.3	0.38	0.46	0.3	8.4	56.1
	3 年	18.0	32.7	24.4	14.5	1.7	5.3	0.64	0.46	0.1	8.8	56.7
	7 年	22.6	29.8	28.6	13.7	1.8	2.4	0.40	0.53	0.8	7.8	54.1
	10 年	14.3	0.2*	9.8*	6.4*	2.4	0.9	0.02	0.10	0.4	7.9	28.0
	1 年	14.7	35.7	27.2	13.8	1.4	3.8	0.60	0.56	0.2	7.5	55.0
未改良土	2 年	14.5	36.2	26.7	13.1	1.3	3.9	0.62	0.55	0.3	7.9	55.6
	3 年	17.4	33.2	25.8	14.4	1.5	4.6	0.76	0.34	0.2	8.0	55.4
	5 年	11.1	56.9	15.2	8.8	2.3	1.9	1.31	1.25	0.1	7.7	29.4
	7 年	23.3	28.7	28.6	14.4	1.6	2.0	0.38	0.56	0.4	8.1	49.7
	10 年	14.9	0.5*	10.3*	6.6*	3.2	1.0	0.03	0.11	0.8	7.9	30.0
未改良土	1 年	14.8	39.3	23.1	14.5	1.6	3.5	0.59	0.61	0.2	7.5	54.5
	2 年	15.1	39.7	23.5	14.0	1.9	3.2	0.56	0.57	0.2	7.5	53.1
	3 年	14.1	43.1	21.3	12.0	2.0	3.0	0.66	0.59	0.1	7.6	50.0
	5 年	18.8	31.5	26.9	15.9	1.2	2.5	0.42	0.61	0.2	7.4	55.5
	10 年	14.9	0.04*	10.1*	6.8*	2.3	0.9	0.02	0.10	0.5	8.1	29.0

* 材齢10年の周辺土および未改良部分の試料 (Ci-5、Ci-15、未改良土) は酸溶解が不十分であったため、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃は前材齢の分析値と比べてかなり小さい値となった

4.3 X線回折

図4.10に材齢10年における各試料のX線回折パターンを示す。改良体周辺土および未改良部分 (Ci-5、Ci-15、未改良土) には石英、長石などの鉱物のピークだけが認められ、セメント組成物や水和物のピークは認められなかった。改良体では、エトリンガイト (图中記号E $2\theta \approx 9.1, 15.8, 23^\circ$)、炭酸カルシウム (C $2\theta \approx 29.4^\circ$) およびゲーレンナイト水和物 (H $2\theta \approx 7^\circ$) が確認された。特にコラム表面から採取した試料 (A-Su-1) からは特に大きな炭酸カルシウムのピークが確認された。これは、改良体中のCa成分が CO_2 と反応したためと考えられる。40cmの覆土があるにも関わらず、炭酸化が生じている可能性がある。それ以外は、試料の採取位置の相違による差は認められなかった。これらの結果は、材齢7年までの結果と同様である。材齢1年～7年までの改良体のCe部分のX線回折パターンを図4.11～4.14に示す。その中で、材齢5年の改良体では、エトリンガイトや炭酸カルシウムのピークは検出されなかったが、後述のSEM観察ではエトリンガイトの存在が確認されている。

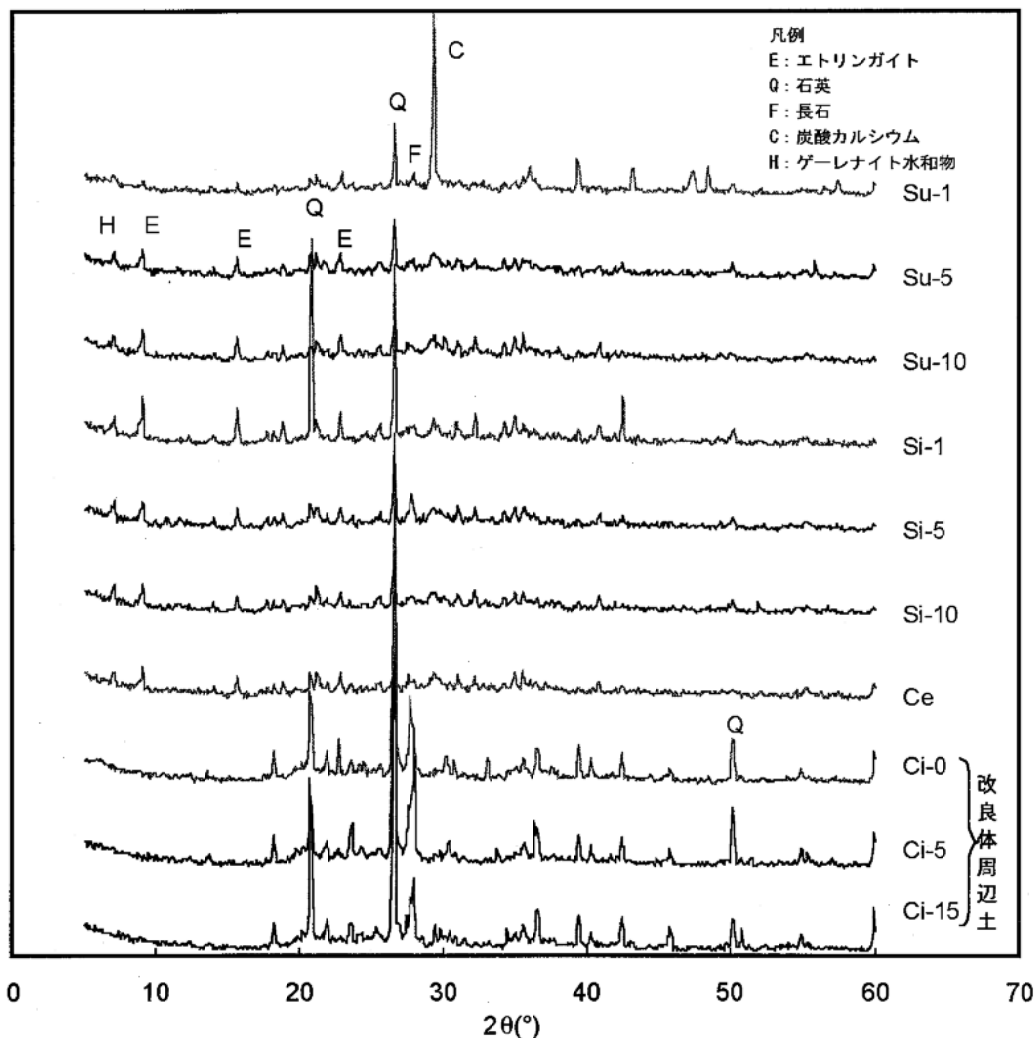


図4.10 X線回折パターン (材齢10年)

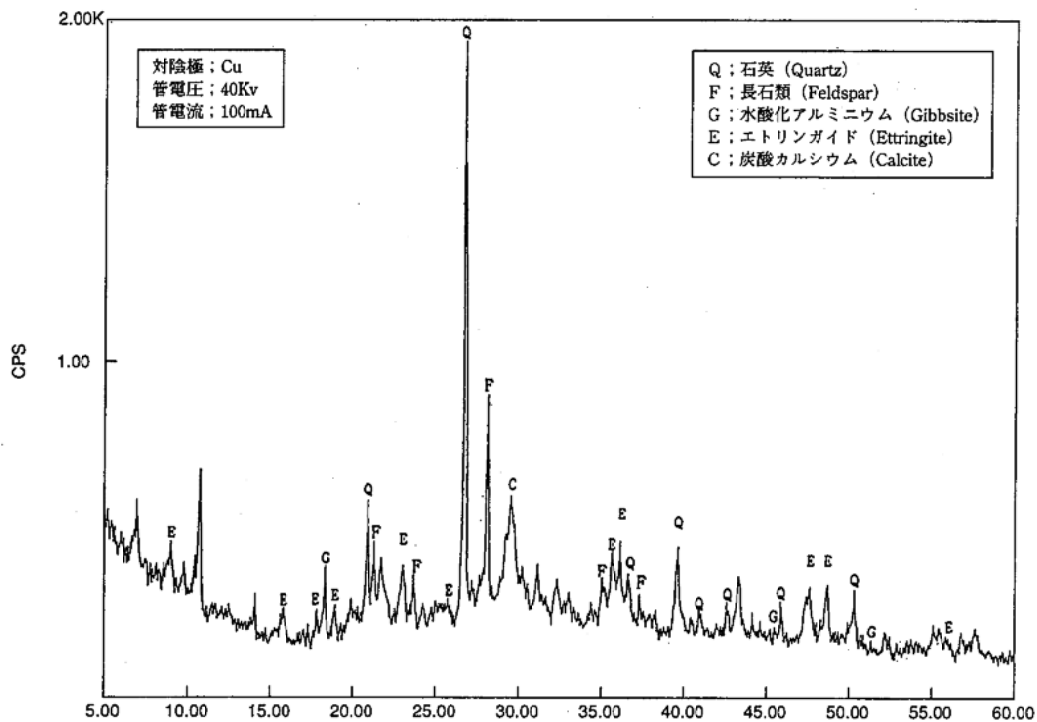


図 4.11 材齢 1 年 Ce 部分の X 線回折パターン

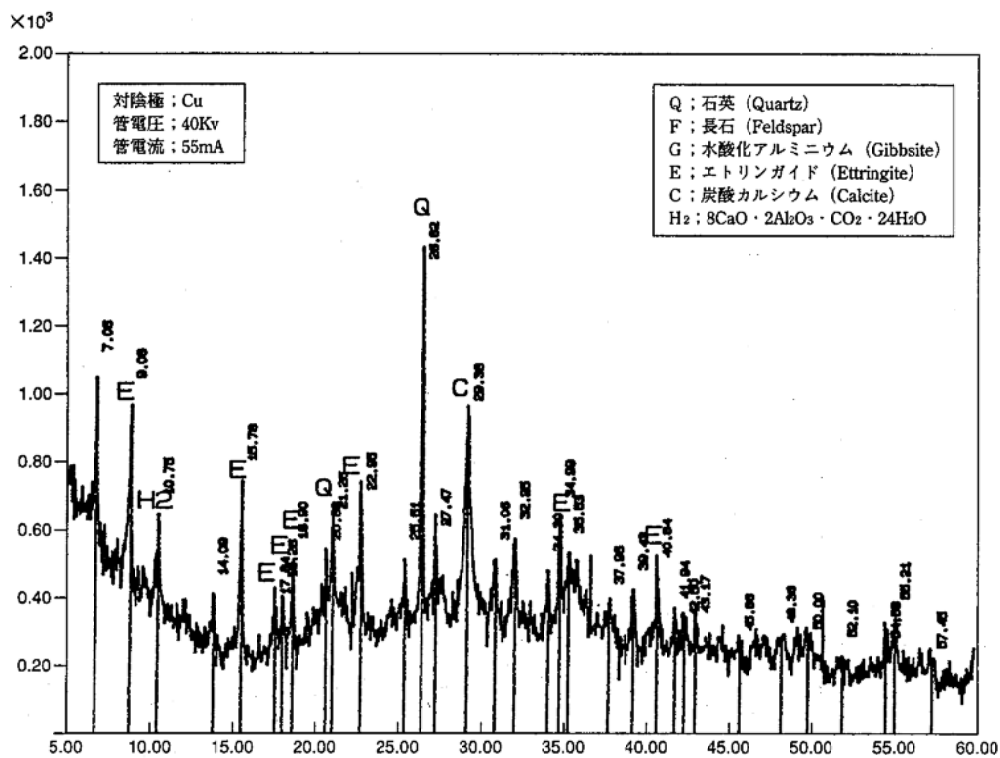


図 4.12 材齢 3 年 Ce 部分の X 線回折パターン

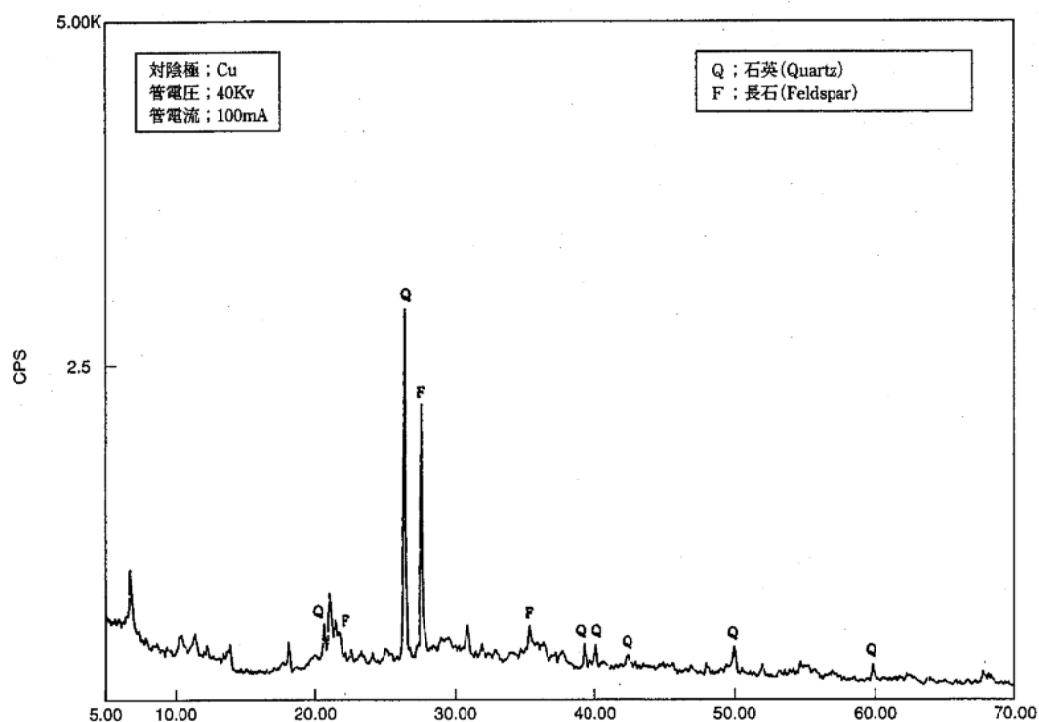


図 4.13 材齢 5 年 Ce 部分のX線回折パターン

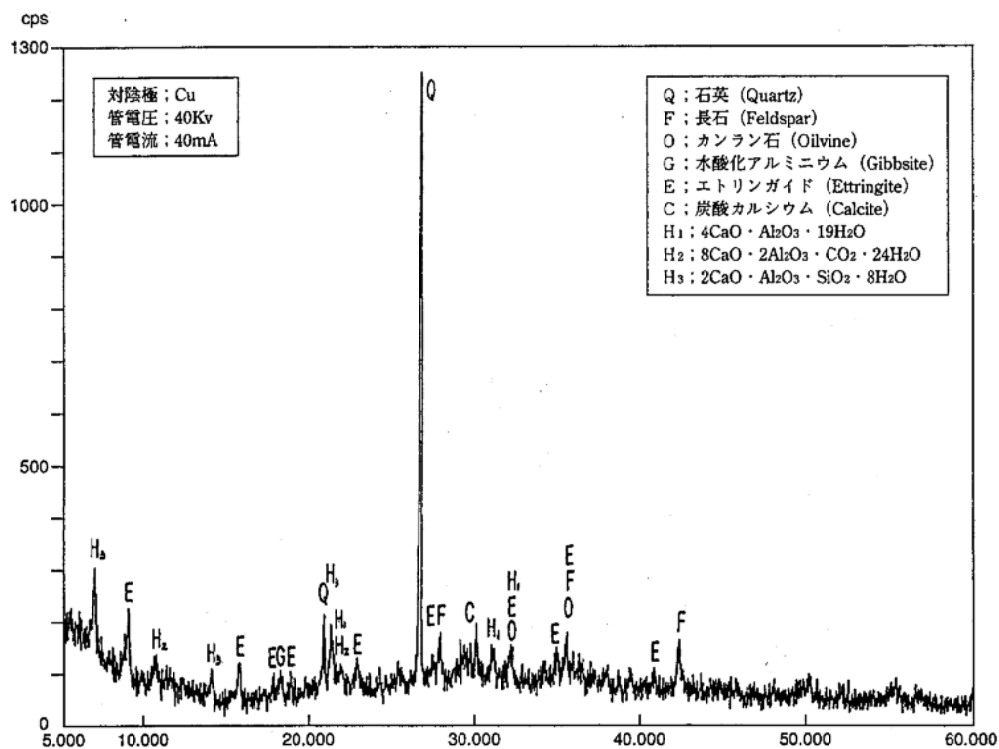
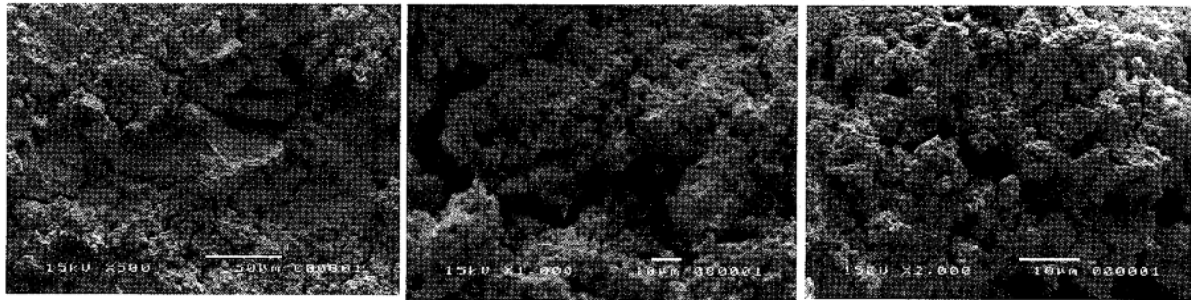


図 4.14 材齢 7 年 Ce 部分のX線回折パターン

4.4 電子顕微鏡（SEM）観察

写真4.1～4.8は材齢10年における各試料のSEM観察結果で、同部位の倍率を変えて（500、1000、2000倍）示している。改良体周辺土（写真4.8）には、土粒子のみが観察され、水和物は認められなかった。改良体では、いずれの試料でも針状のエトリンガイトと微細なカルシウムアルミネート水和物などが認められた。これらの写真は、材齢10年経ってもエトリンガイトが存在していることを示している。



×500

×1000

×2000

写真4.1 Su-1

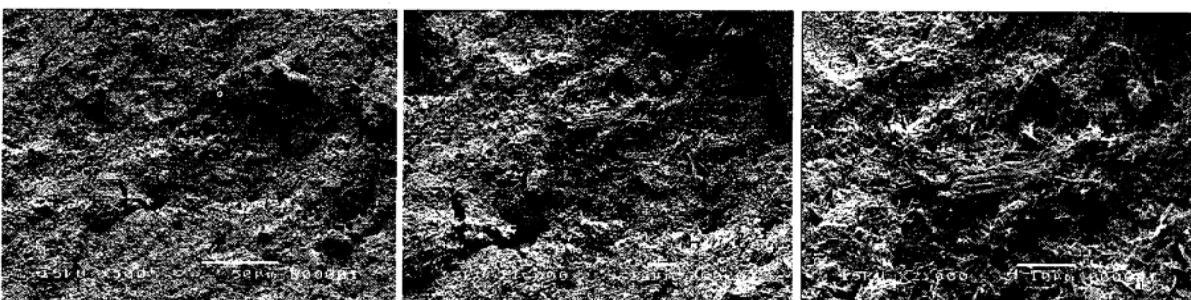


×500

×1000

×2000

写真4.2 Su-5



×500

×1000

×2000

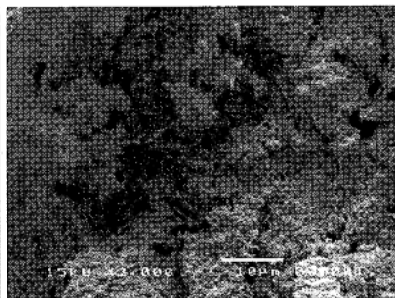
写真4.3 Su-10



×500

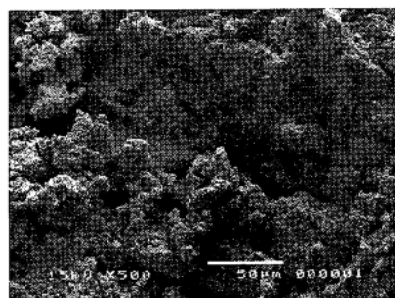


×1000



×2000

写真 4.4 Si-1



×500

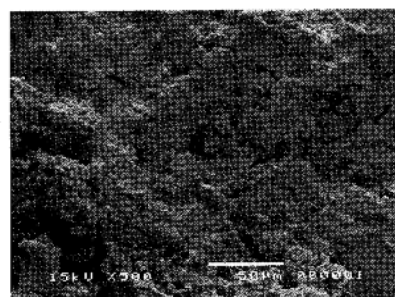


×1000



×2000

写真 4.5 Si-5



×500

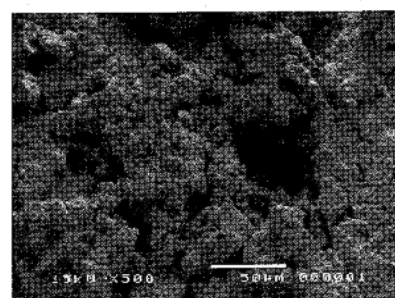


×1000

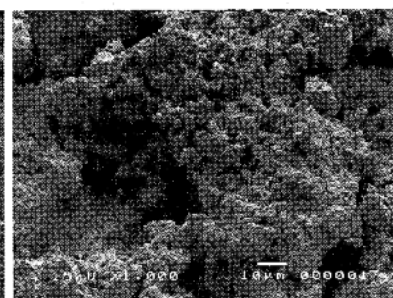


×2000

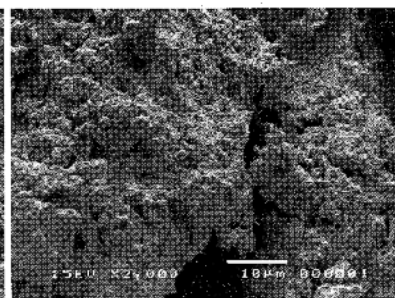
写真 4.6 Si-10



×500

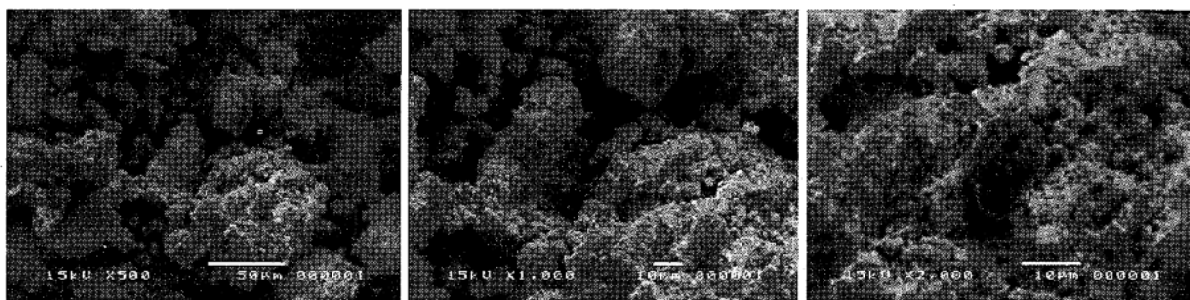


×1000



×2000

写真 4.7 Ce



×500

×1000

×2000

写真 4.8 Ci-5

5. まとめ

セメント系固化材による改良体の長期的な安定性を把握するために、火山灰質粘性土を対象として築造した改良体を10年に亘り追跡調査した。その結果、以下のことが判明した。

- (1) 室内および現場供試体とも、強度は材齢2年まで増進が著しく、材齢28日強度の3倍程度に強度が増進した。材齢10年まではほぼ同じか漸増傾向にある。現場供試体の強度値は室内供試体とほぼ同じで、施工時の混練・締固め不足や非均質性による強度低下は見られなかった。
- (2) 室内および現場供試体とも、湿潤密度、含水比は施工直後より変化がなかった。
- (3) 改良体の化学成分は、長期に亘ってほとんど変動がなかった。また、X線回折、SEM観察等から、セメント水和物が長期に亘って安定して存在することが確認された。
- (4) 改良体中のCaO含有量は施工後からほぼ22～23%で一定しているが、pHは施工直後では11.5を超え、材齢5年程度までは変化がみられなかった。しかし、その後、低下傾向がみられ、材齢10年では10.5程度となった。なお、改良体周辺土のpHは8程度でほぼ一定であり、改良体からCa成分の溶脱は認められなかった。
- (5) 材齢10年を経ても、改良体中にエトリンガイトが多く存在している。地表面に最も近い部分には、炭酸カルシウム (CaCO_3) が生成しており、炭酸化が生じている可能性があった。

今回の調査は、極力均質に作製された改良体の物理・化学的特性を10年に亘って追跡したものである。均質な改良体を作製するために、締固め不要の材料配合を採用し、混練もミキサにより精度を高めている。また、当該地盤の地下水は改良体底面より下に位置している。このように、実際の工事に比べれば、かけ離れた、かつ、理想的な条件での調査であるが、それ故、バラツキなどの影響因子を減らした形の調査になっているものと考えている。

今回の調査で明らかに出来なかった課題も残されており、今後の研究によって解明されることを期待する。

◇参考文献

- (1) 寺師昌明他／石灰・セメント系安定処理土の基本特性に関する研究（第3報）、港湾技術研究所報告第22巻第1号（1983.3）
- (2) 恒松昭士他／セメント系固化材を用いた改良地盤における長期耐久性について、第45回セメント技術大会講演集1991
- (3) 吉田信夫他／改良地盤の15年後の追跡調査、第27回土質工学研究発表会、平成4年6月
- (4) 三嶋信雄他／セメント安定処理土の長期強度特性、第28回土質工学研究発表会、平成5年6月
- (5) 石谷和宏他／セメント系固化材による安定処理地盤の長期耐久性調査、第28回土質工学研究発表会、平成5年6月
- (6) 三嶋信雄他／安定処理土の長期強度特性、第30回土質工学研究発表会、平成7年7月
- (7) 榎並 昭他／共回り防止翼付き深層混合処理工法により築造されたソイルセメントコラムの長期物性、第30回土質工学研究発表会、平成7年7月
- (8) 足立 正他／深層混合処理工法により築造されたソイルセメントコラムの長期物性に関する研究、第35回地盤工学研究発表会、2000年6月

資 料 編

資料－ 1 写真－施工状況

資料－ 2 写真－改良体の掘起し

資料－ 3 室内養生供試体の強度試験結果

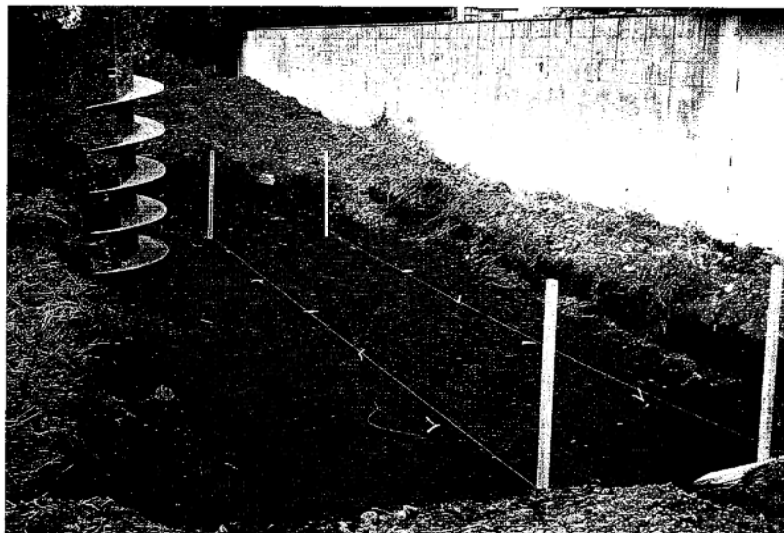
資料－ 4 改良体の強度試験結果

資料－ 5 X線回折

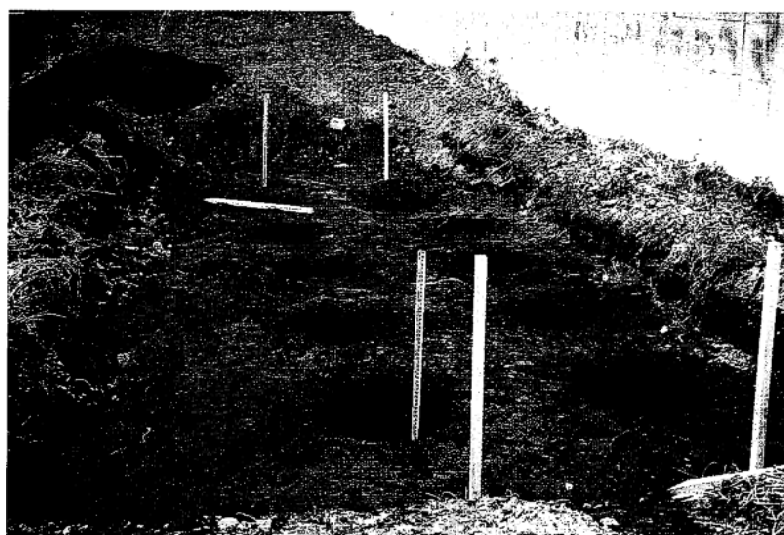
資料－ 6 関連発表論文

資料－ 7 関連新聞記事

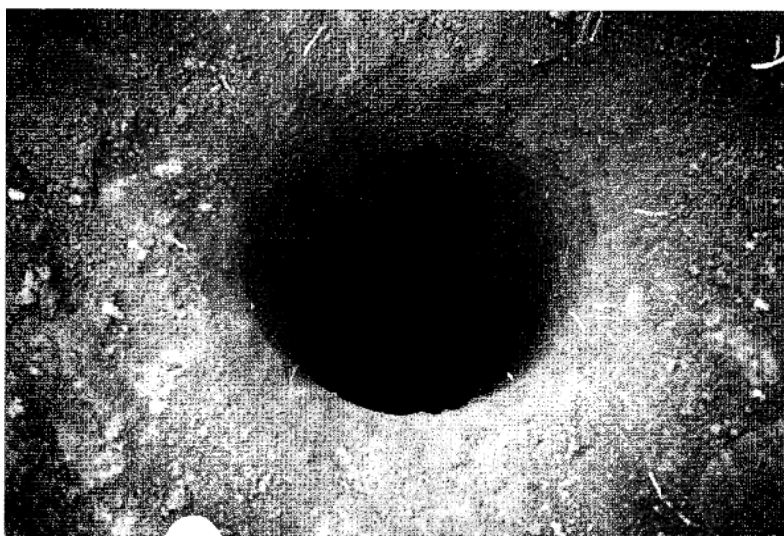
資料－１ 写真－施工状況



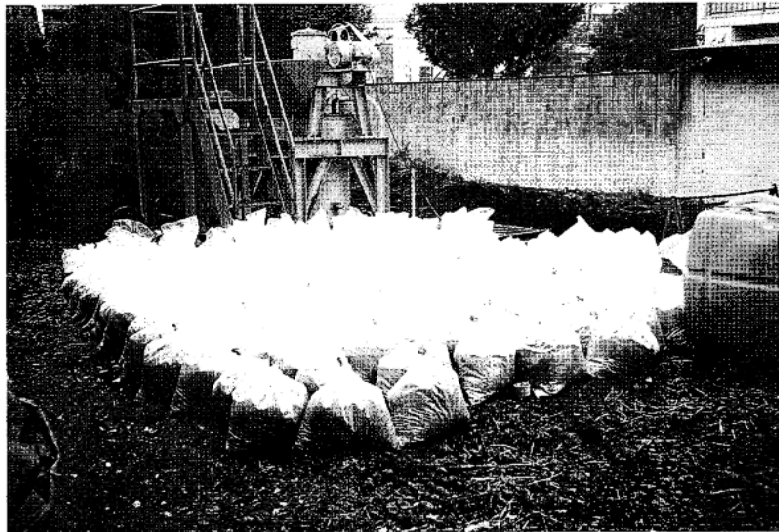
写真－１．１ 芯出し改良体中心間隔1.2m



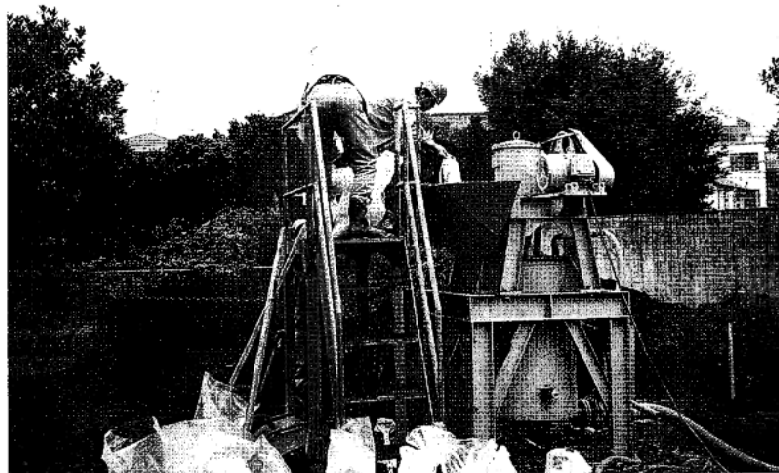
写真－１．２ 削孔完了



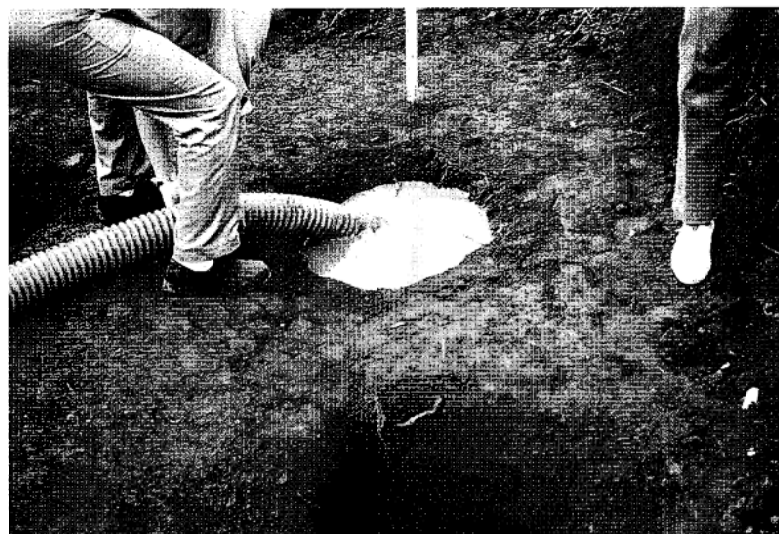
写真－１．３ 掘削孔内部



写真－1.4 袋詰めされた掘削土 1袋20kg入り120袋



写真－1.5 ミキサ（容量0.5m³）へ対象土、水、セメント系固化材を投入



写真－1.6 改良土の充填

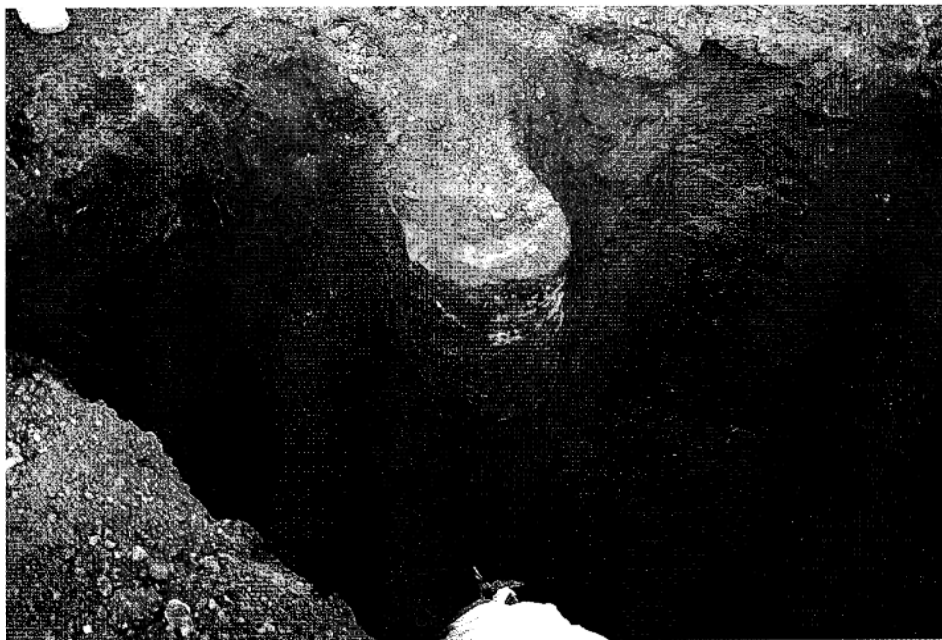


写真－1.7 Pロートによる流動性の測定



写真－1.8 改良土の充填完了の状態

資料－２ 写真－改良体の掘起し



写真－２.１ 改良体の掘起し バックホウを使用



写真－２.２ 一部手作業による



写真－2.3 改良体出来型の測定



写真－2.4 試験所への搬入

資料－３ 室内養生供試体の強度試験結果

表－資 3.1 室内養生供試体の一軸圧縮試験結果

材 齢	養 生	No.	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
1 ヲ月	密封	1	1301	1.32	1.341	139.6
		2	1213	1.18	1.369	139.7
		3	1325	1.23	1.369	140.9
		平均	1280	1.24	1.360	140.1
	水中	1	1229	1.08	1.352	142.8
		2	1296	1.18	1.355	144.1
		3	1341	1.22	1.345	142.4
		平均	1289	1.16	1.351	143.1
6 ヲ月	密封	1	2079	0.54	1.362	132.2
		2	2226	0.61	1.333	131.7
		3	2569	0.71	1.326	132.4
		平均	2291	0.62	1.340	132.1
	水中	1	2040	0.63	1.366	138.2
		2	1971	0.65	1.368	137.7
		3	1942	0.70	1.354	137.6
		平均	1984	0.66	1.363	137.8
1 年	密封	1	3001	0.89	1.339	135.5
		2	2913	0.75	1.322	137.0
		3	3275	0.90	1.331	135.0
		平均	3063	0.85	1.331	135.8
	水中	1	2432	1.27	1.345	147.1
		2	2687	0.95	1.356	145.5
		3	2481	1.00	1.344	148.3
		平均	2533	1.07	1.348	147.0
2 年	密封	1	3883	0.62	1.384	119.4
		2	3785	0.70	1.365	121.6
		3	3874	0.84	1.370	124.0
		平均	3847	0.72	1.373	121.7
	水中	1	4286	0.76	1.384	127.1
		2	3903	0.82	1.386	123.7
		3	3883	0.74	1.381	125.3
		平均	4024	0.77	1.384	125.4
3 年	密封	1	3020	0.73	1.345	127.1
		2	3187	0.84	1.365	128.9
		3	3069	0.70	1.360	129.6
		平均	3092	0.76	1.357	128.5
	水中	1	3266	0.82	1.35	139.7
		2	3226	0.80	1.345	139.9
		3	3442	0.69	1.35	138.9
		平均	3311	0.77	1.348	139.5
5 年	密封	1	3560	1.13	1.229	114.0
		2	3570	1.32	1.211	109.5
		3	3570	1.45	1.224	104.4
		平均	3566	1.30	1.221	109.3
	水中	1	2128	1.68	1.335	146.8
		2	2108	0.69	1.343	146.3
		3	2128	1.33	1.338	146.4
		平均	2122	1.23	1.339	146.5
7 年	密封	1	4315	0.81	1.314	122.6
		2	3815	0.82	1.303	121.6
		3	4001	0.95	1.308	123.7
		平均	4044	0.86	1.308	122.6
	水中	1	2609	0.91	1.362	136.5
		2	2658	0.98	1.350	130.2
		3	3344	0.84	1.376	131.9
		平均	2870	0.91	1.363	132.9
10 年	密封	1	3647	0.65	1.371	130.6
		2	3871	0.69	1.369	132.1
		3	3462	0.62	1.364	132.3
		平均	3660	0.65	1.368	131.7

資料－４ 改良体の強度試験結果

表－資４.１ 材齢１ヵ月 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
B－C e	1	1007	0.95	1.330	140.5
	2	1191	1.37	1.344	140.7
	3	1197	0.79	1.309	140.3
	平均	1132	1.04	1.328	140.5
B－S i	1	822	1.27	1.339	132.8
	2	912	0.78	1.323	132.7
	3	1463	0.91	1.36	129.3
	平均	1066	0.99	1.341	131.6
C－C e-1	1	1262	0.54	1.327	135.2
	2	1208	0.73	1.337	137.0
	3	1240	0.88	1.352	137.0
	平均	1237	0.72	1.339	136.4
C－C e-2	1	1284	1.04	1.347	131.0
	2	1185	1.07	1.344	134.9
	3	1298	0.79	1.348	134.4
	平均	1256	0.97	1.346	133.4
C－S i-1	1	1369	0.51	1.371	134.5
	2	1225	0.62	1.353	133.2
	3	941	0.46	1.337	134.1
	平均	1178	0.53	1.354	133.9
C－S i-2	1	1394	2.10	1.375	124.3
	2	1667	0.60	1.375	123.5
	3	1831	0.71	1.399	120.0
	平均	1631	1.14	1.383	122.6

表一資 4.2 材齢6ヵ月 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
B - C e	1	1304	0.88	1.311	121.4
	2	1697	0.87	1.290	124.7
	3	1383	0.90	1.323	123.4
	平均	1461	0.88	1.308	123.2
B - S i	1	1383	0.69	1.328	120.0
	2	1971	1.07	1.355	118.3
	3	2050	1.13	1.321	118.2
	平均	1801	0.96	1.335	118.8
C - C e - 1	1	1422	1.12	1.322	123.5
	2	1491	0.94	1.331	120.0
	3	—	—	—	—
	平均	1456	1.03	1.327	121.8
C - C e - 2	1	1402	0.83	1.315	125.6
	2	1706	1.03	1.325	124.6
	3	1510	1.24	1.330	124.5
	平均	1540	1.03	1.323	124.9
C - C e - 3	1	1775	1.20	1.324	122.4
	2	1491	0.70	1.328	123.0
	3	1697	0.93	1.325	124.5
	平均	1654	0.94	1.326	123.3
C - C e - 4	1	1687	0.92	1.305	121.6
	2	1520	0.76	1.318	119.0
	3	1294	1.21	1.321	106.9
	平均	1500	0.96	1.315	115.8
C - S i - 1	1	1520	1.05	1.333	118.1
	2	1334	0.93	1.316	117.5
	3	1834	0.99	1.306	114.6
	平均	1563	0.99	1.318	116.7
C - S i - 2	1	1677	1.42	1.311	122.7
	2	1530	0.86	1.328	120.4
	3	1451	0.91	1.314	122.5
	平均	1553	1.06	1.318	121.9
C - S i - 3	1	1579	1.02	1.299	122.8
	2	1569	0.89	1.304	124.1
	3	1667	1.32	1.311	123.6
	平均	1605	1.08	1.305	123.5
C - S i - 4	1	2236	0.97	1.351	117.7
	2	1932	1.23	1.357	118.9
	3	—	—	—	—
	平均	2084	1.10	1.354	118.3

表一資 4.3 材齢 1 年 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
B - C e	1	2540	0.62	1.339	138.2
	2	2569	0.75	1.340	140.0
	3	1863	0.70	1.334	136.6
	平均	2324	0.69	1.338	138.3
B - S i	1	2383	0.63	1.353	135.6
	2	2452	0.70	1.343	135.8
	3	2481	0.79	1.343	136.3
	平均	2439	0.71	1.346	135.9
C - C e - 1	1	2628	0.89	1.354	135.1
	2	2501	0.95	1.341	138.1
	3	2599	0.88	1.337	138.2
	平均	2576	0.91	1.344	137.1
C - C e - 2	1	2530	0.87	1.337	139.2
	2	2422	0.80	1.349	137.8
	3	2079	0.82	1.341	137.2
	平均	2344	0.83	1.342	138.1
C - C e - 3	1	2432	0.96	1.355	137.5
	2	2118	1.20	1.360	136.5
	3	2393	1.19	1.347	138.1
	平均	2314	1.12	1.354	137.4
C - C e - 4	1	2658	1.15	1.341	138.2
	2	2177	0.92	1.358	135.6
	3	1697	0.65	1.397	114.9
	平均	2177	0.91	1.365	129.6
C - S i - 1	1	2981	1.03	1.370	128.8
	2	2618	1.06	1.374	130.7
	3	2099	0.87	1.360	135.3
	平均	2566	0.99	1.368	131.6
C - S i - 2	1	2305	0.94	1.353	136.9
	2	2236	0.97	1.352	137.1
	3	2020	0.60	1.352	136.4
	平均	2187	0.84	1.352	136.8
C - S i - 3	1	2285	1.15	1.354	132.8
	2	2873	1.05	1.368	132.1
	3	3001	1.25	1.361	132.1
	平均	2720	1.15	1.361	132.3
C - S i - 4	1	3109	1.00	1.374	127.7
	2	2942	0.84	1.385	122.3
	3	3001	0.93	1.419	111.6
	平均	3017	0.92	1.393	120.5

表一資 4.4 材齢2年 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
B - C e	1	3560	0.87	1.366	120.4
	2	3452	0.94	1.398	119.7
	3	2520	0.78	1.406	119.1
	平均	3177	0.86	1.390	119.7
B - S i	1	3452	0.69	1.400	116.4
	2	3285	0.78	1.410	116.7
	3	3393	0.79	1.423	105.9
	平均	3377	0.75	1.411	113.0
C - C e - 1	1	3638	0.76	1.409	117.6
	2	3756	1.32	1.340	107.3
	3	3295	1.06	1.375	116.1
	平均	3563	1.05	1.375	113.7
C - C e - 2	1	3177	1.28	1.380	115.0
	2	3619	0.82	1.412	106.2
	3	3403	1.09	1.321	118.5
	平均	3400	1.06	1.371	113.2
C - C e - 3	1	3148	0.81	1.351	116.0
	2	3020	1.03	1.358	119.8
	3	3226	1.07	1.355	112.6
	平均	3132	0.97	1.355	116.1
C - C e - 4	1	2805	0.81	1.388	118.8
	2	3109	0.84	1.400	117.3
	3	3158	1.13	1.380	118.6
	平均	3024	0.93	1.389	118.2
C - S i - 1	1	3619	0.88	1.395	105.9
	2	3413	0.92	1.400	109.7
	3	3619	0.85	1.386	113.8
	平均	3550	0.88	1.394	109.8
C - S i - 2	1	3148	0.77	1.384	113.2
	2	2540	0.60	1.388	108.1
	3	3550	0.89	1.363	115.9
	平均	3079	0.75	1.378	112.4
C - S i - 3	1	3226	0.75	1.400	117.8
	2	3521	1.11	1.397	114.7
	3	3805	0.56	1.405	112.1
	平均	3517	0.81	1.401	114.9
C - S i - 4	1	3403	0.72	1.392	113.9
	2	3089	0.83	1.399	115.6
	3	2746	0.74	1.423	106.7
	平均	3079	0.76	1.405	112.1

表一資 4.5 材齡3年 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m^2)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)
B - C e	1	3168	1.57	1.408	131.4
	2	2138	0.62	1.505	119.9
	3	2412	0.92	1.415	123.4
	平均	2573	1.04	1.443	124.9
B - S i	1	2913	0.96	1.398	108.8
	2	2197	0.95	1.376	151.3
	3	2079	1.20	1.358	143.1
	平均	2396	1.04	1.377	134.4
C - C e - 1	1	2363	1.18	1.353	132.5
	2	3472	0.78	1.382	128.3
	3	3275	0.70	1.374	130.2
	平均	3037	0.89	1.370	130.3
C - C e - 2	1	3364	0.90	1.388	124.6
	2	3677	0.99	1.353	127.3
	3	3589	1.03	1.368	126.9
	平均	3543	0.97	1.370	126.3
C - C e - 3	1	4766	0.98	1.461	109.4
	2	4168	0.97	1.395	123.4
	3	3981	0.94	1.390	126.9
	平均	4305	0.96	1.415	119.9
C - C e - 4	1	2697	0.98	1.366	142.4
	2	3109	0.87	1.390	129.3
	3	2971	0.79	1.388	125.7
	平均	2926	0.88	1.381	132.5
C - S i - 1	1	2265	1.22	1.417	126.1
	2	2687	0.78	1.425	123.4
	3	3050	1.17	1.395	129.1
	平均	2667	1.06	1.412	126.2
C - S i - 2	1	3226	1.18	1.413	125.2
	2	3795	1.19	1.383	128.0
	3	3864	1.60	1.393	128.2
	平均	3628	1.32	1.396	127.1
C - S i - 3	1	2148	1.64	1.346	149.5
	2	3727	0.91	1.306	120.4
	3	2471	0.91	1.364	145.6
	平均	2782	1.15	1.339	138.5
C - S i - 4	1	2422	0.70	1.336	137.2
	2	2334	0.93	1.327	138.0
	3	2569	0.87	1.330	131.7
	平均	2442	0.83	1.331	135.6

表一資 4.6 材齢5年 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
B - C e	1	4011	1.01	1.365	131.9
	2	4138	1.06	1.389	119.3
	3	3903	1.09	1.378	125.2
	平均	4017	1.05	1.377	125.5
B - S i	1	3442	0.78	1.360	128.5
	2	4109	0.99	1.336	126.9
	3	3932	0.88	1.369	109.6
	平均	3828	0.88	1.355	121.7
C - C e - 1	1	3913	0.90	1.357	134.6
	2	3197	0.86	1.352	134.6
	3	3628	0.82	1.349	134.6
	平均	3579	0.86	1.353	134.6
C - C e - 2	1	4021	0.87	1.360	131.2
	2	3991	1.08	1.355	131.6
	3	4276	0.99	1.365	131.2
	平均	4096	0.98	1.360	131.3
C - C e - 3	1	3668	0.97	1.362	128.9
	2	3795	0.86	1.360	131.3
	3	4089	0.98	1.381	121.1
	平均	3851	0.94	1.368	127.1
C - C e - 4	1	3442	0.81	1.387	121.1
	2	3864	0.92	1.379	122.3
	3	2991	0.78	1.389	118.4
	平均	3432	0.84	1.385	120.6
C - S i - 1	1	4776	0.80	1.389	124.4
	2	4835	0.92	1.382	124.3
	3	4491	0.97	1.390	121.9
	平均	4701	0.90	1.387	123.5
C - S i - 2	1	4148	0.86	1.377	123.2
	2	4315	0.87	1.372	128.1
	3	4413	0.91	1.384	122.9
	平均	4292	0.88	1.378	124.7
C - S i - 3	1	4168	0.89	1.393	118.2
	2	4442	0.84	1.400	113.2
	3	3962	0.80	1.401	120.2
	平均	4191	0.84	1.398	117.2
C - S i - 4	1	3550	0.81	1.393	120.3
	2	3207	0.80	1.386	119.2
	3	3874	0.78	1.390	119.6
	平均	3543	0.80	1.390	119.7

表一資 4.7 材齢7年 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m^2)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)
B-C e	1	4717	0.83	1.349	134.4
	2	3334	0.81	1.343	134.3
	3	4089	1.03	1.340	130.8
	平均	4047	0.89	1.344	133.2
B-S i	1	3599	0.88	1.360	126.6
	2	3158	0.80	1.344	137.7
	3	—	—	—	—
	平均	3378	0.84	1.352	132.2
C-C e-1	1	3119	0.98	1.339	134.2
	2	4491	0.98	1.400	135.8
	3	4187	0.53	1.363	133.6
	平均	3932	0.83	1.367	134.5
C-C e-2	1	3746	0.80	1.345	132.8
	2	4609	0.88	1.349	132.4
	3	3903	0.87	1.331	132.0
	平均	4086	0.85	1.342	132.4
C-C e-3	1	4374	1.08	1.340	132.3
	2	4011	0.85	1.371	134.5
	3	4089	0.83	1.354	134.8
	平均	4158	0.92	1.355	133.9
C-C e-4	1	4599	0.93	1.383	129.7
	2	2883	0.83	1.359	132.2
	3	—	—	—	—
	平均	3741	0.88	1.371	131.0
C-S i-1	1	3638	0.94	1.358	135.8
	2	4178	1.20	1.320	134.8
	3	4070	1.07	1.353	136.2
	平均	3962	1.07	1.344	135.6
C-S i-2	1	4129	1.06	1.355	134.5
	2	3324	0.86	1.344	130.9
	3	—	—	—	—
	平均	3727	0.96	1.350	132.7
C-S i-3	1	4197	0.86	1.352	130.6
	2	3903	0.80	1.353	129.9
	3	—	—	—	—
	平均	4050	0.83	1.353	130.3
C-S i-4	1	4678	0.84	1.343	121.8
	2	4364	0.91	1.359	130.0
	3	3530	0.89	1.362	127.0
	平均	4191	0.88	1.355	126.3

表一資 4.8 材齢10年 改良体の一軸圧縮試験結果

記号	No.	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	破壊ひずみ (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)
B-C e-1	1	3289	0.70	1.357	132.9
	2	1905	0.73	1.349	133.7
	3	4312	0.73	1.357	133.0
	平均	3169	0.72	1.354	133.2
B-C e-2	1	4355	0.82	1.364	132.4
	2	2805	3.44	1.362	133.2
	3	4303	0.90	1.376	132.9
	平均	3821	1.72	1.367	132.8
B-C e-3	1	3811	0.88	1.350	131.8
	2	4131	0.90	1.347	133.5
	3	3975	0.93	1.354	131.9
	平均	3972	0.90	1.350	132.4
B-S i-1	1	4104	1.13	1.346	129.6
	2	4208	0.93	1.358	129.4
	3	4078	0.81	1.358	130.0
	平均	4130	0.96	1.354	129.7
B-S i-2	1	4583	0.94	1.366	130.6
	2	4324	0.82	1.372	128.4
	3	2939	0.80	1.347	128.3
	平均	3949	0.85	1.362	129.1
B-S i-3	1	4036	0.82	1.355	130.2
	2	2933	0.65	1.371	129.4
	3	2815	0.70	1.379	127.8
	平均	3261	0.72	1.368	129.1
C-C e-1	1	4560	0.96	1.372	133.4
	2	3832	0.82	1.364	131.8
	3	4422	0.82	1.355	131.5
	平均	4271	0.87	1.364	132.2
C-C e-2	1	4063	0.85	1.345	131.5
	2	3929	0.83	1.352	133.0
	3	3848	0.81	1.369	134.4
	平均	3947	0.83	1.355	133.0
C-C e-3	1	3480	0.73	1.343	134.0
	2	3633	0.71	1.366	133.4
	3	3028	0.64	1.356	128.4
	平均	3380	0.69	1.355	131.9
C-C e-4	1	2924	0.74	1.344	129.3
	2	3581	0.71	1.364	125.3
	3	3510	0.72	1.388	117.8
	平均	3338	0.72	1.365	124.1
C-S i-1	1	3753	0.82	1.368	132.6
	2	3756	0.84	1.355	135.4
	3	4194	0.86	1.356	131.5
	平均	3901	0.84	1.360	133.2
C-S i-2	1	3961	0.80	1.359	128.3
	2	4300	0.81	1.356	129.5
	3	4591	0.85	1.369	129.4
	平均	4284	0.82	1.361	129.1
C-S i-3	1	4309	0.79	1.368	130.3
	2	3886	0.70	1.369	128.0
	3	4452	0.79	1.362	131.0
	平均	4216	0.76	1.366	129.8
C-S i-4	1	4144	0.82	1.369	122.0
	2	3497	0.84	1.370	128.7
	3	4397	0.76	1.367	124.9
	平均	4013	0.81	1.369	125.2

資料-5 X線回折

材齢6カ月

図-資5.1 ~ 5.8

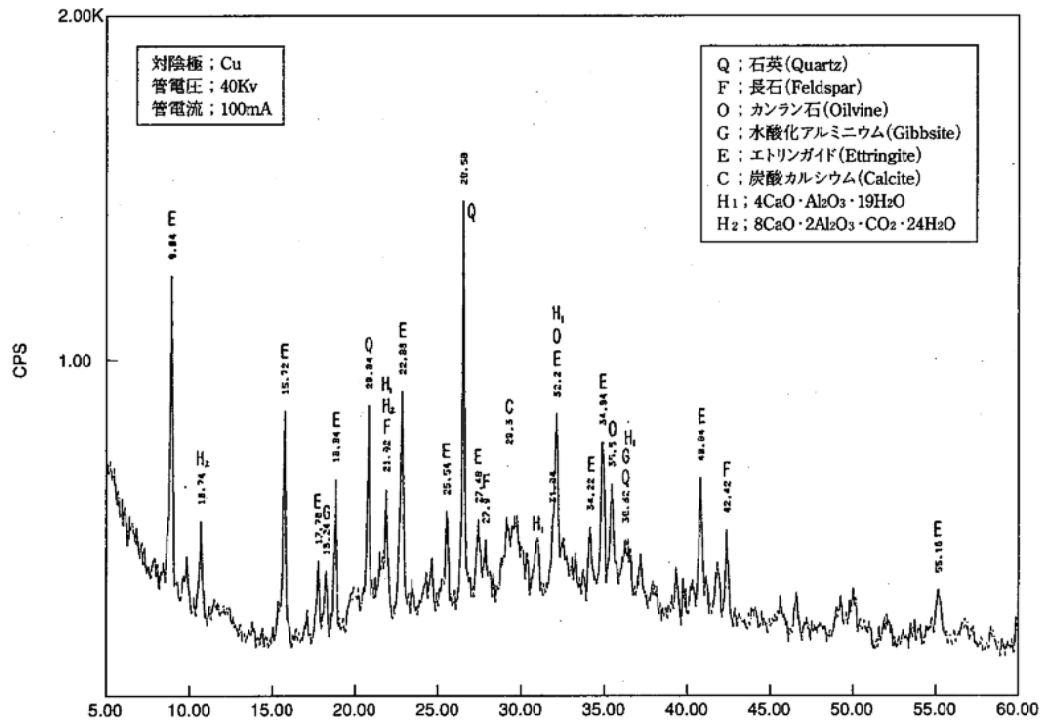


図-資5.1 Su-1のX線回折パターン

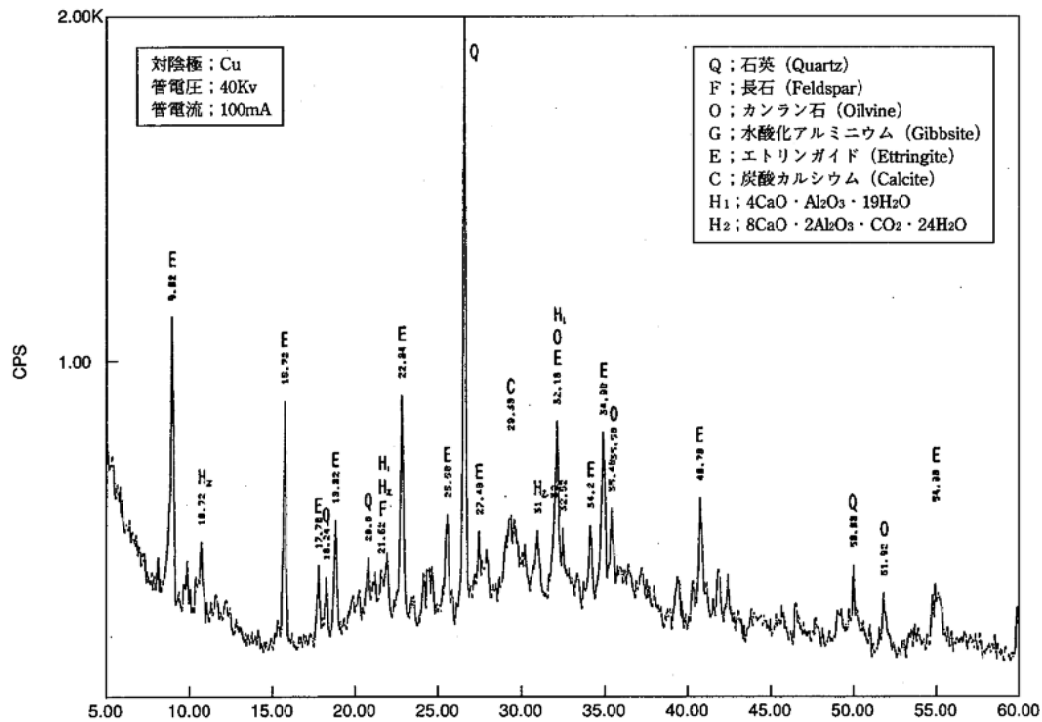
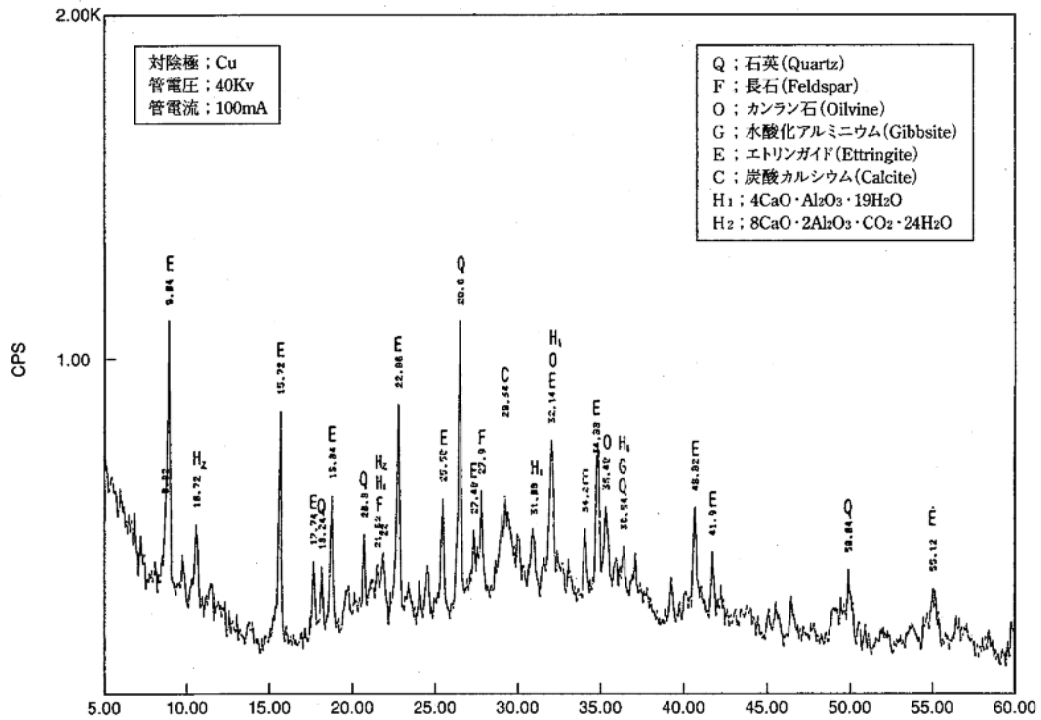
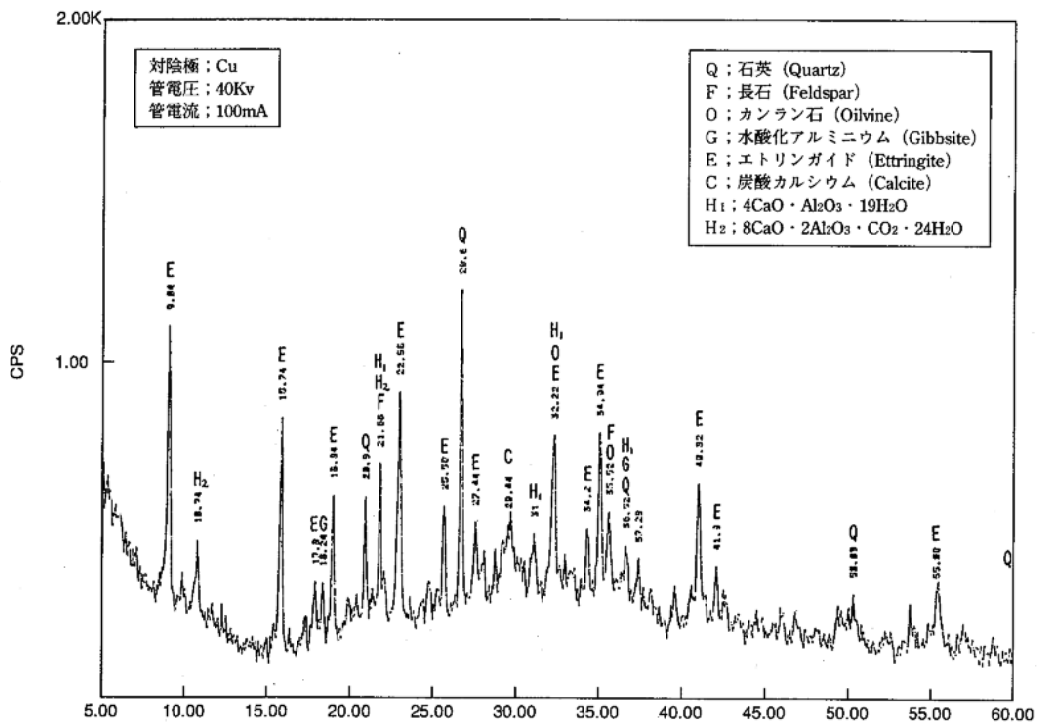


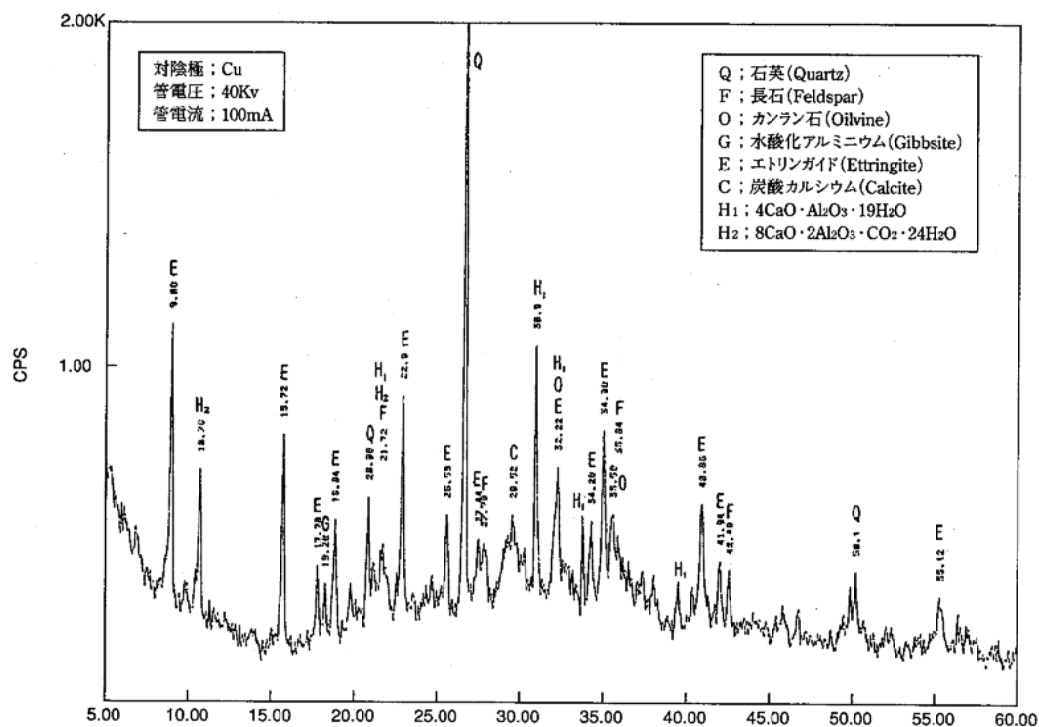
図-資5.2 Su-5のX線回折パターン



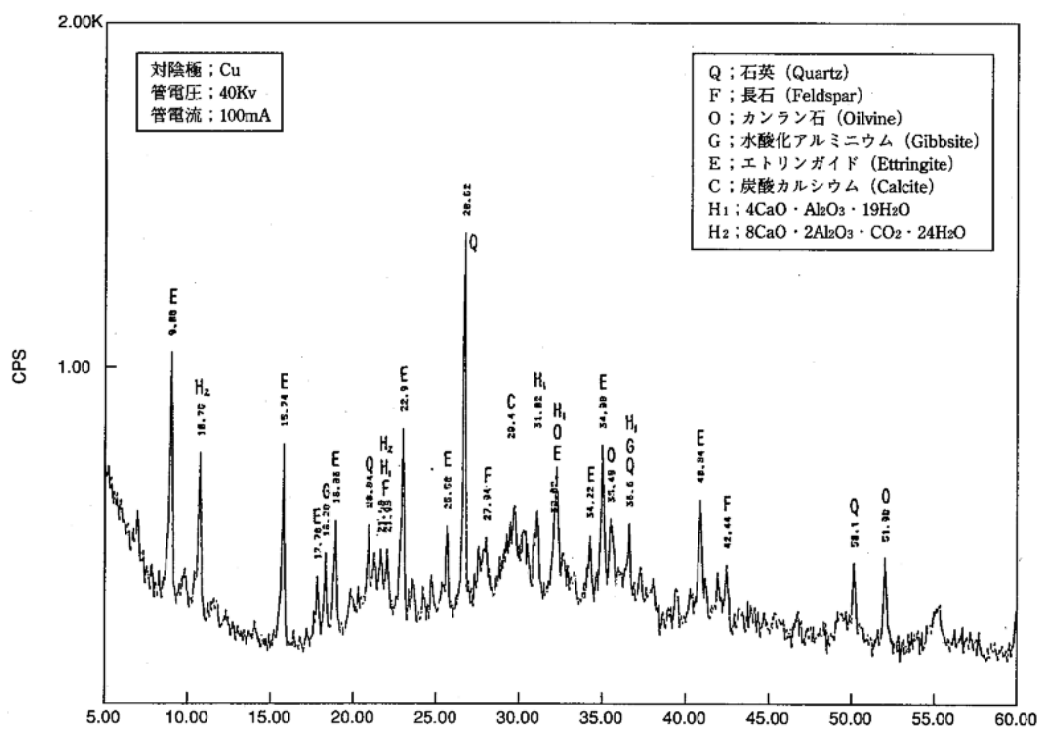
図一資 5.3 Su-10のX線回折パターン



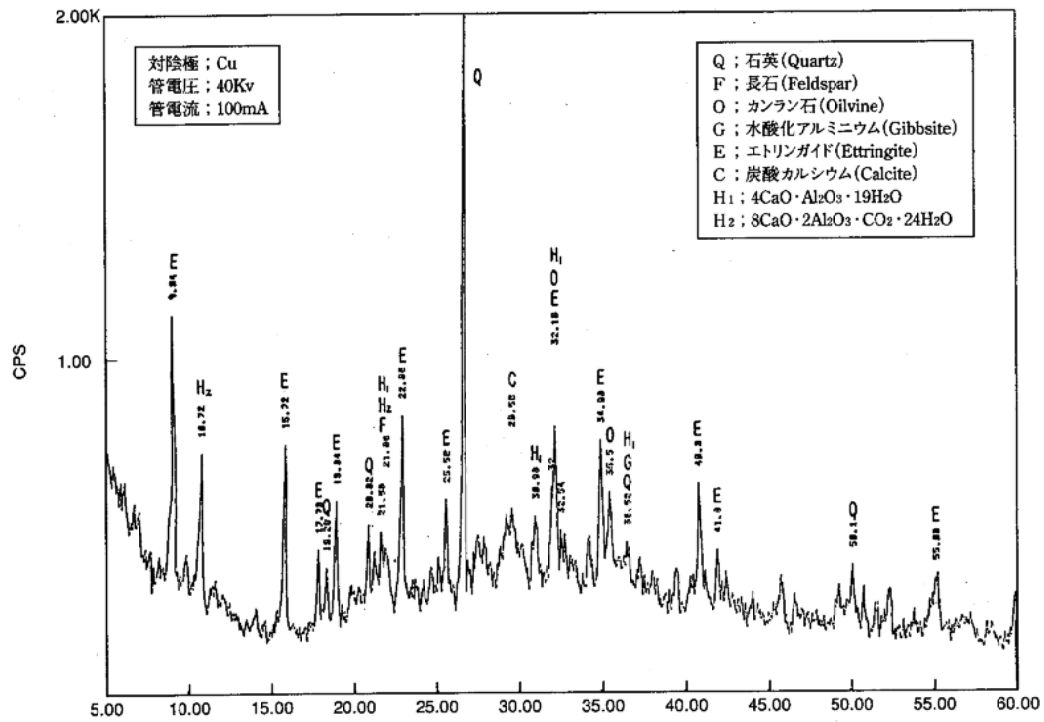
図一資 5.4 Si-1のX線回折パターン



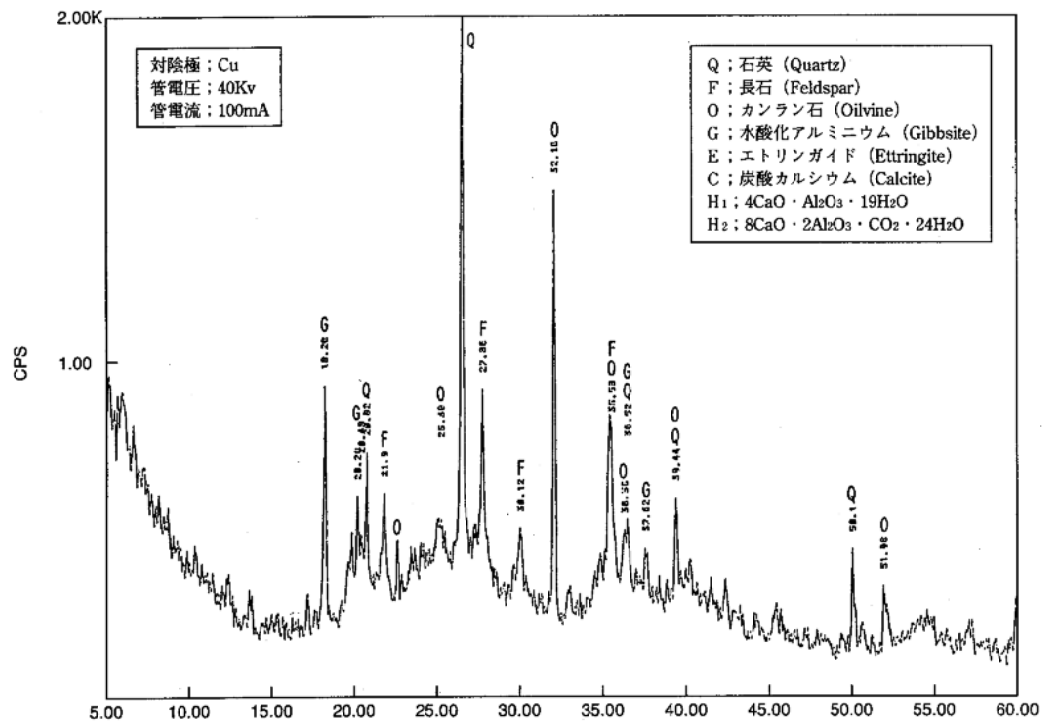
図一資 5.5 Si-5のX線回折パターン



図一資 5.6 Si-10のX線回折パターン



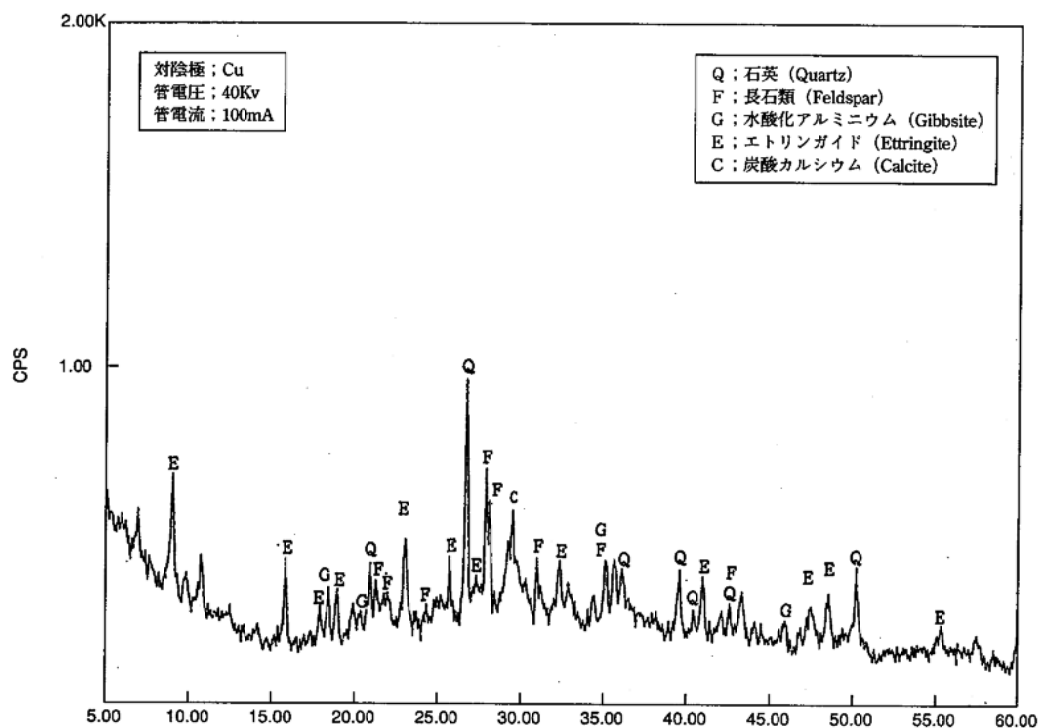
図一資 5.7 CeのX線回折パターン



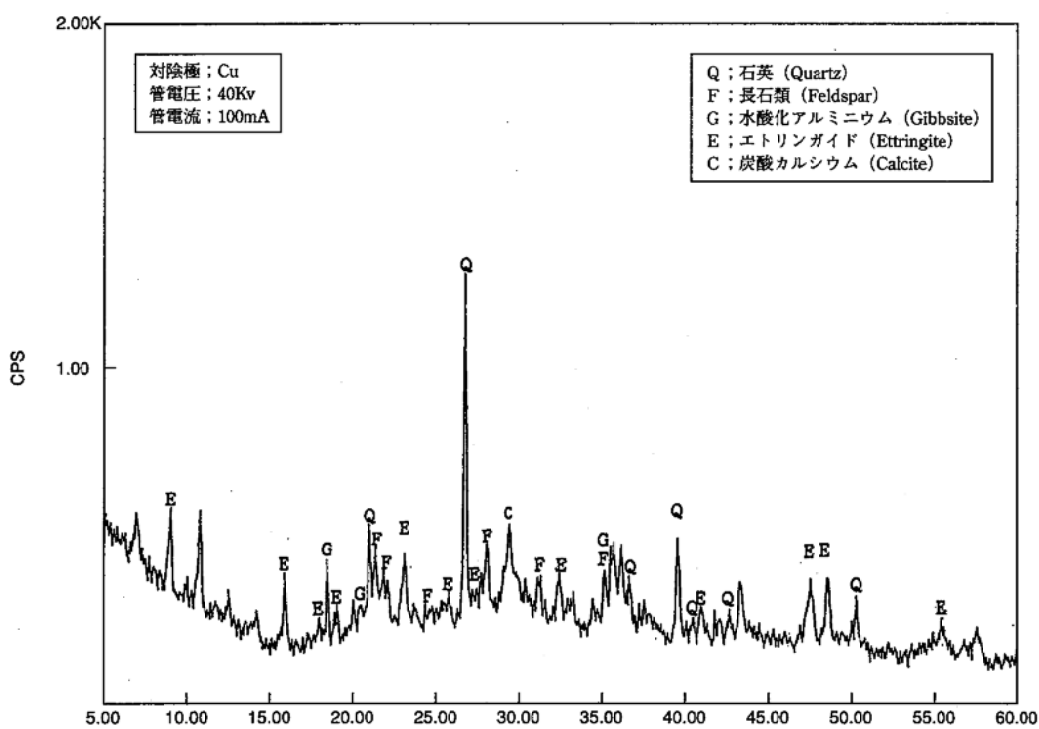
図一資 5.8 CiのX線回折パターン

材齢 1 年

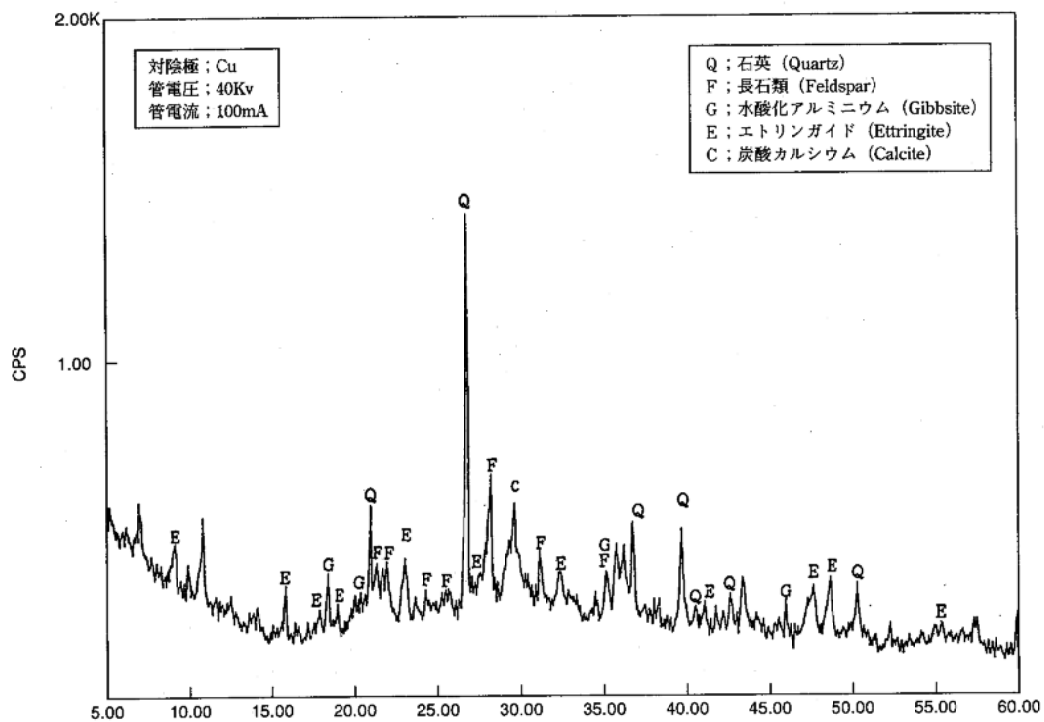
図一資 5.9 ~ 5.17



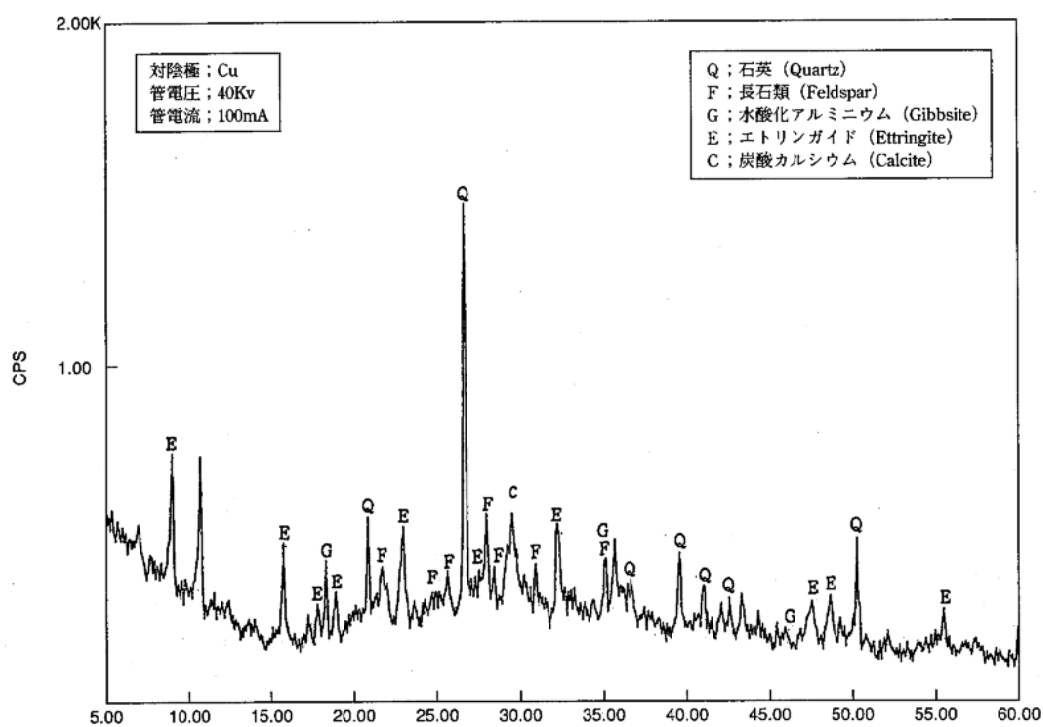
図一資 5.9 Su-1のX線回折パターン



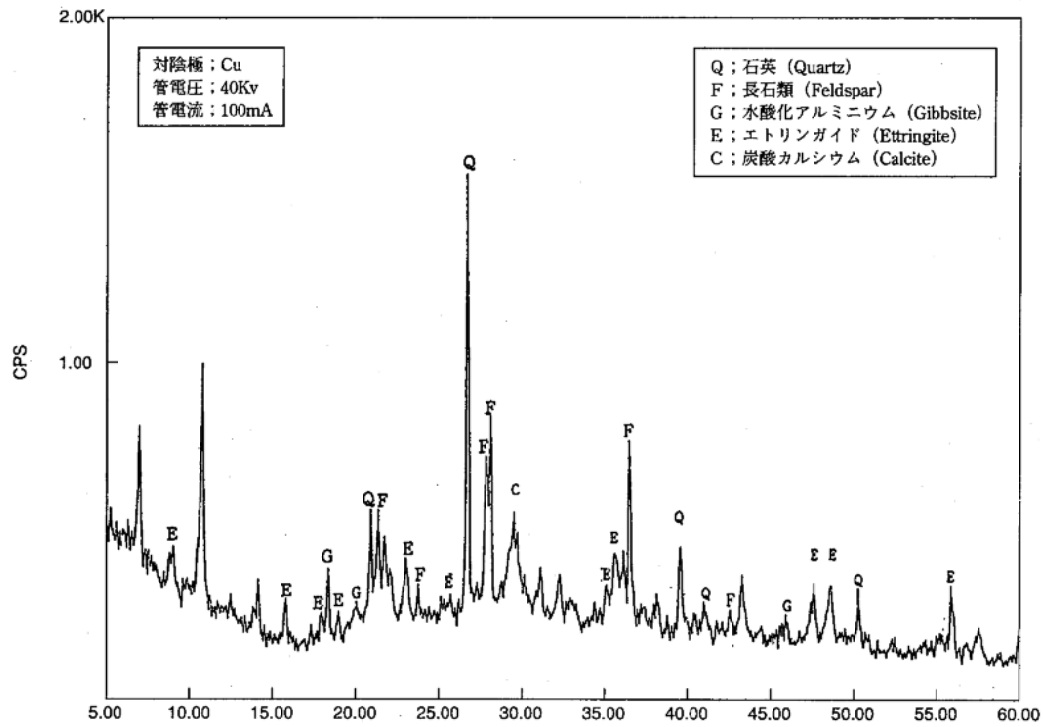
図一資 5.10 Su-5のX線回折パターン



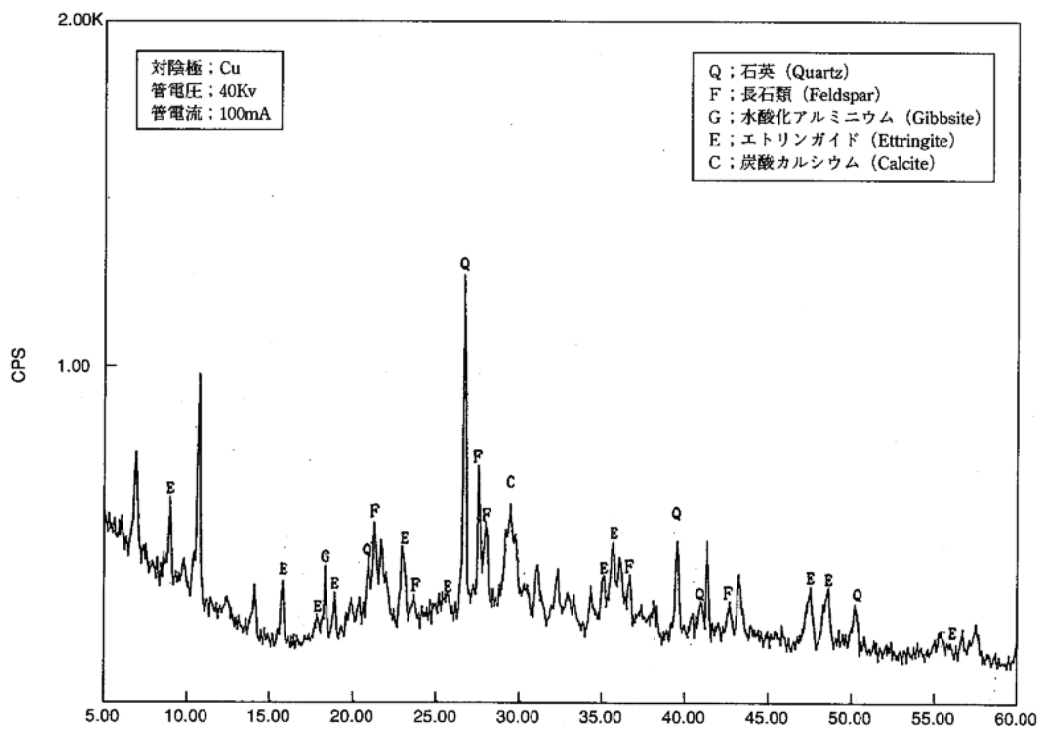
図一資 5.11 Su-10のX線回折パターン



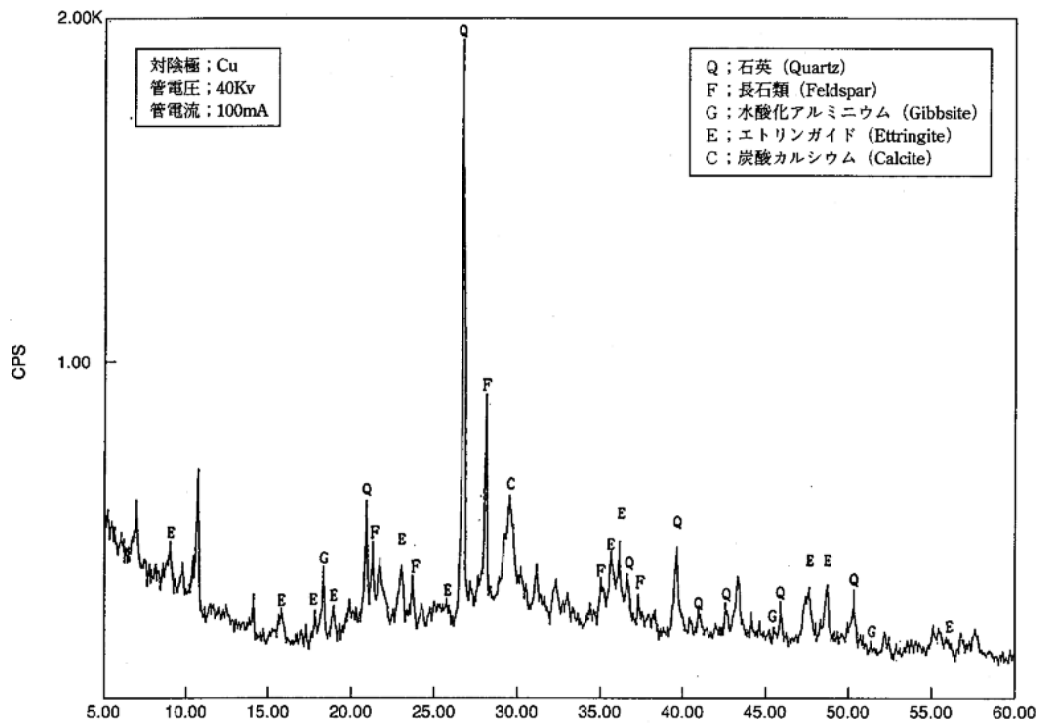
図一資 5.12 Si-1のX線回折パターン



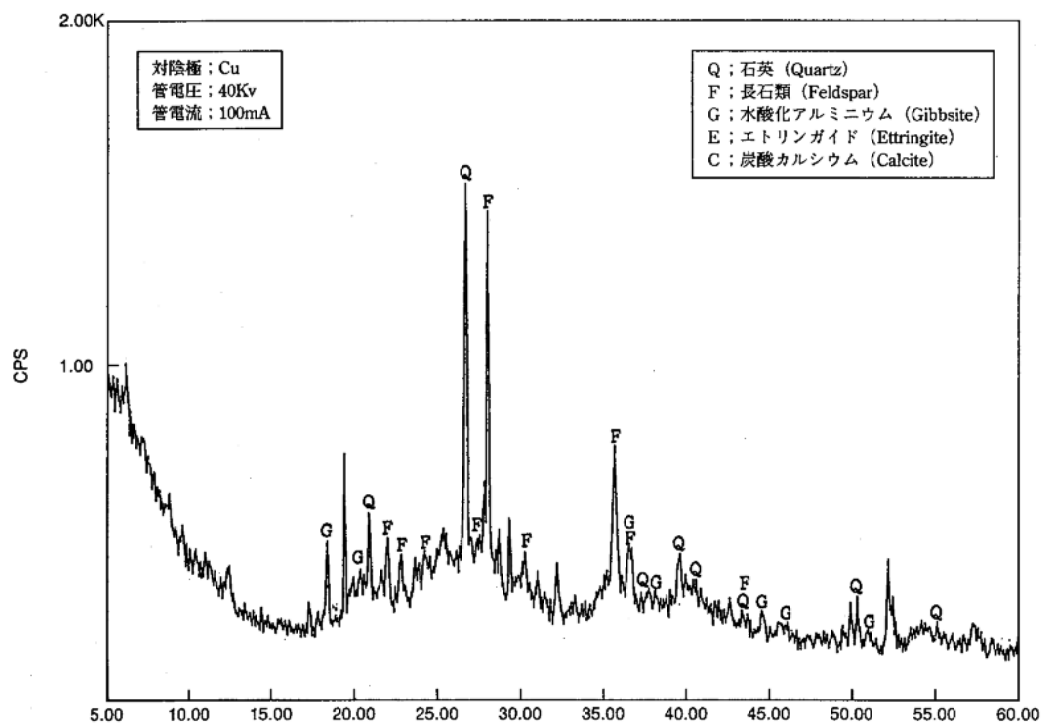
図一資 5.13 Si-5のX線回折パターン



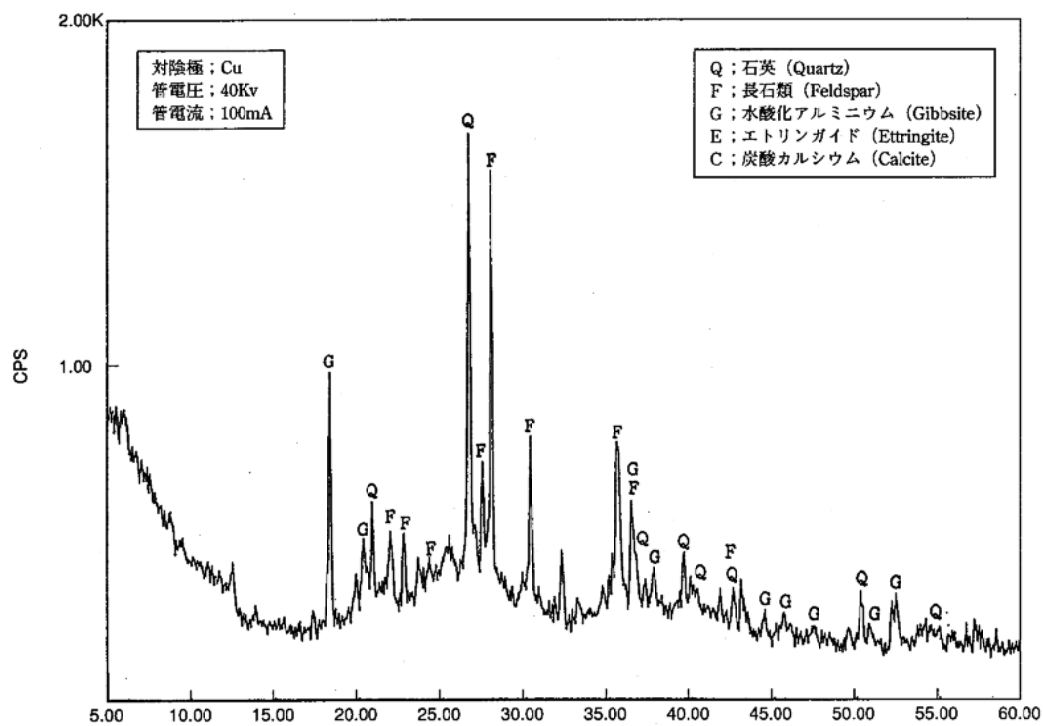
図一資 5.14 Si-10のX線回折パターン



図一資 5.15 CeのX線回折パターン



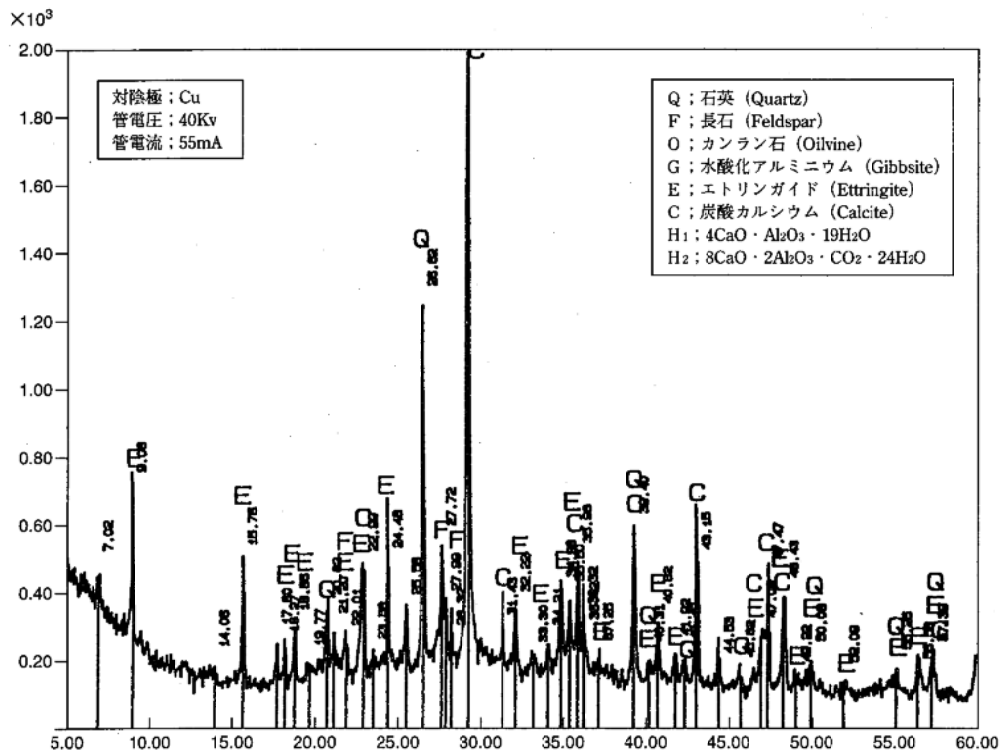
図一資 5.16 Ci-5のX線回折パターン



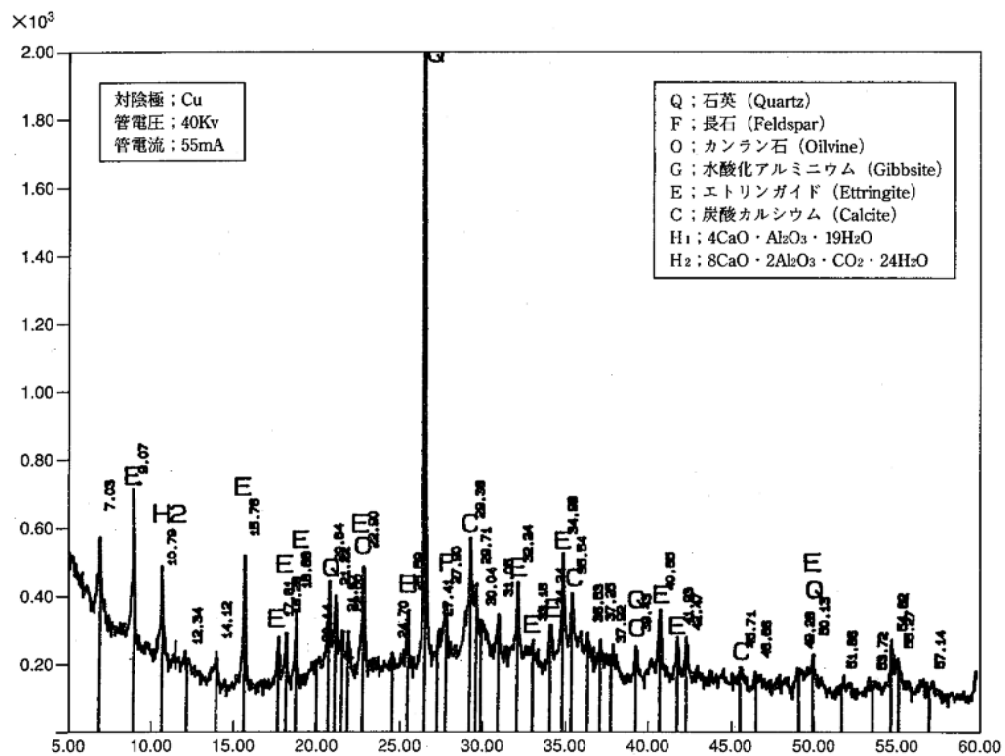
図一資 5.17 Ci-15のX線回折パターン

材齢 2 年

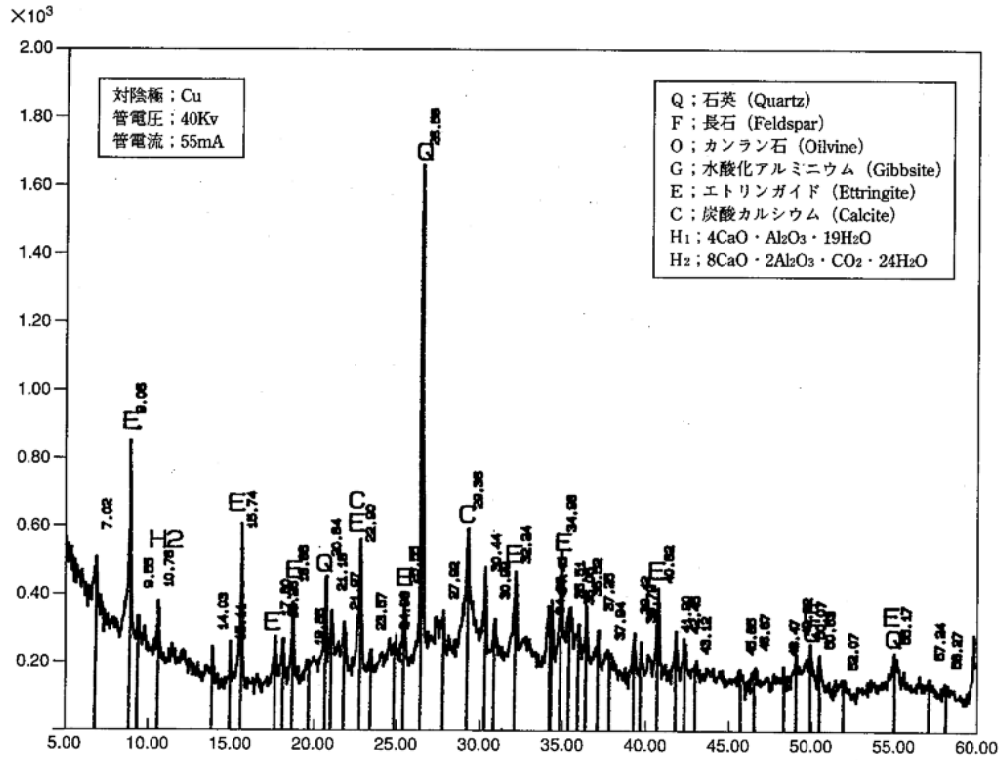
図一資 5.18～5.27



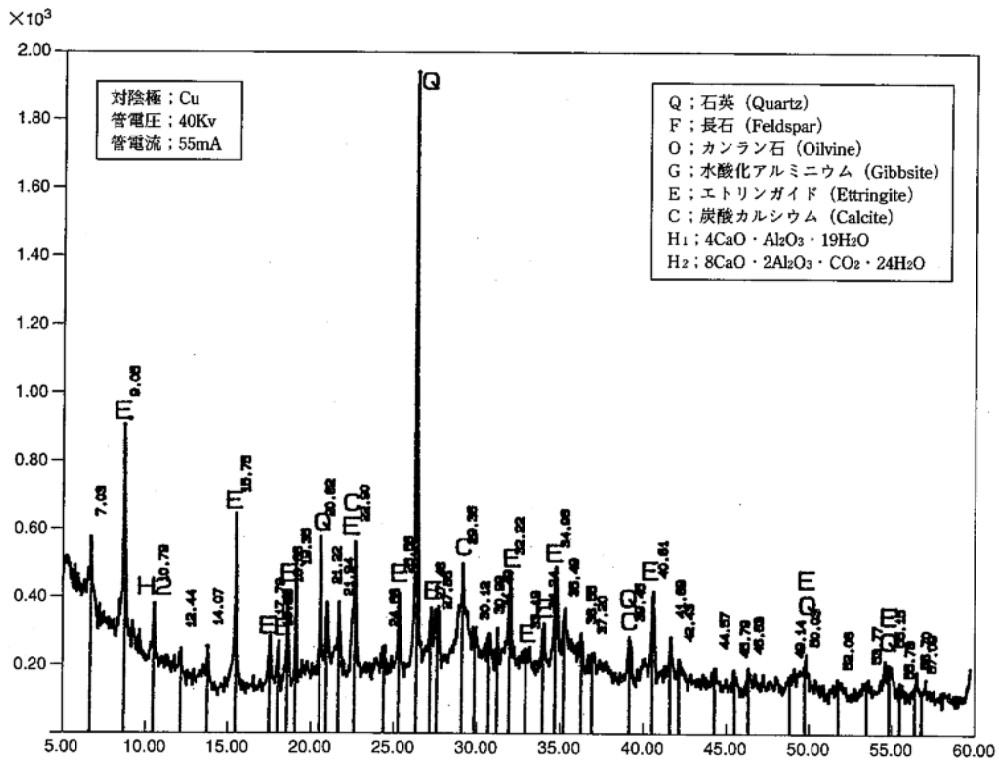
図一資 5.18 Su-1のX線回折パターン



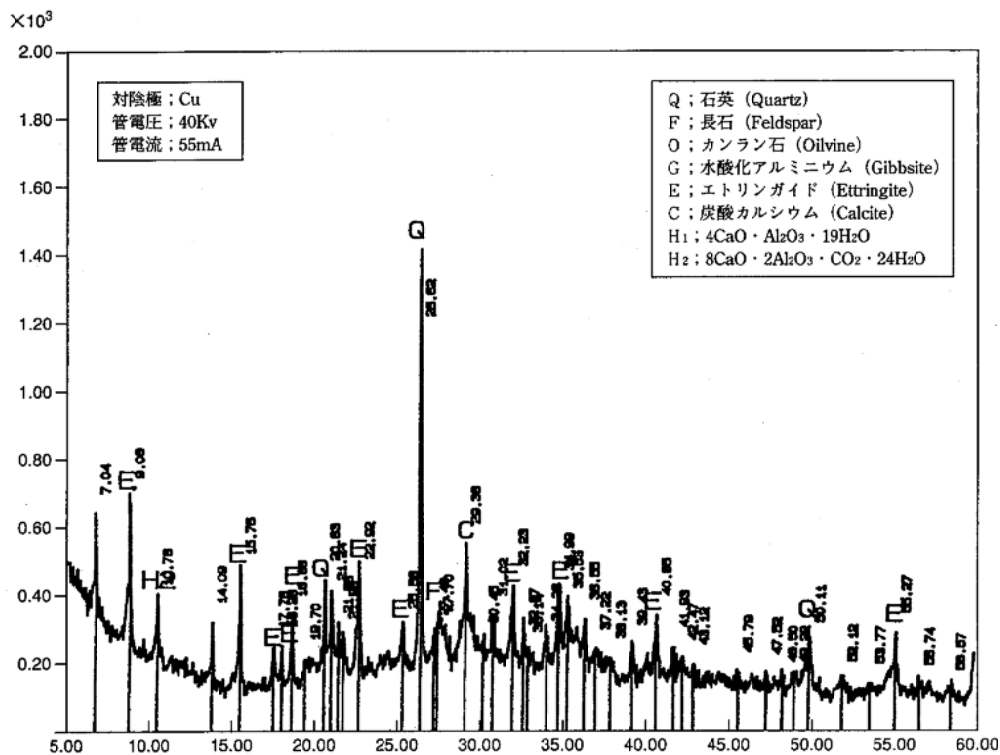
図一資 5.19 Su-5のX線回折パターン



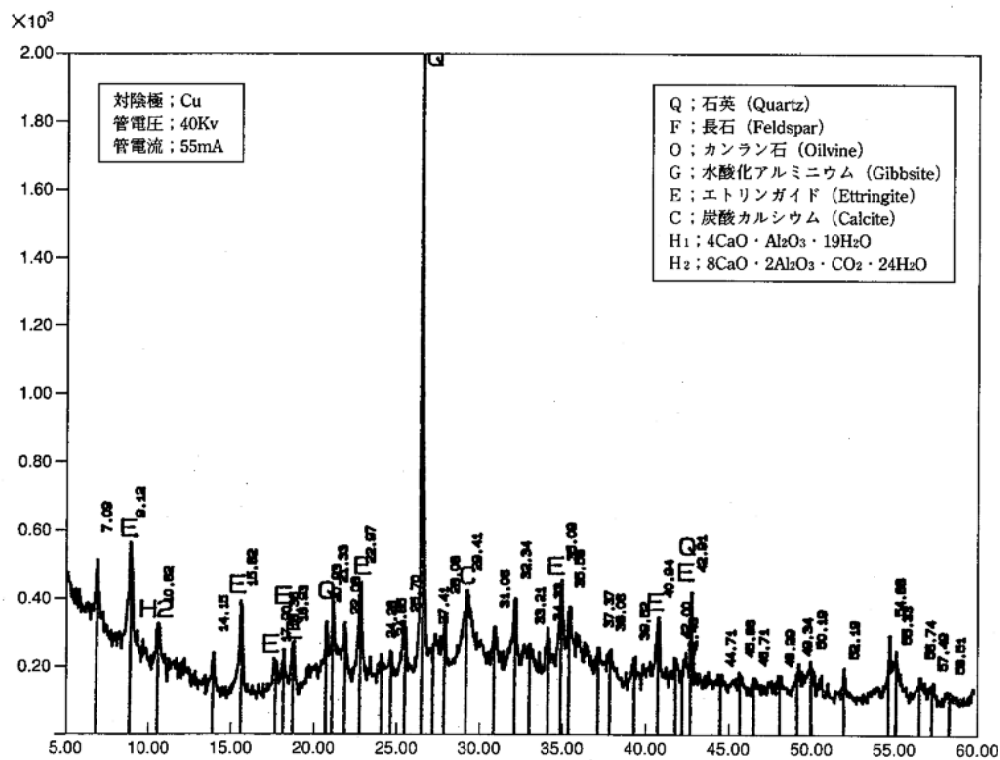
図一資 5.20 Su-10のX線回折パターン



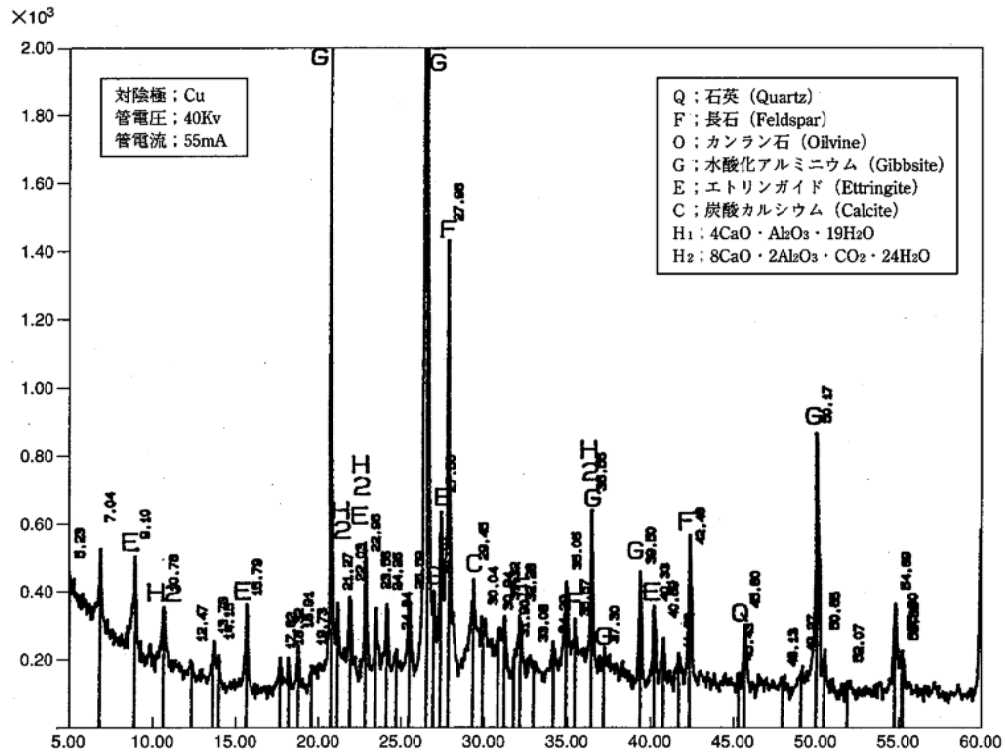
図一資 5.21 Si-1のX線回折パターン



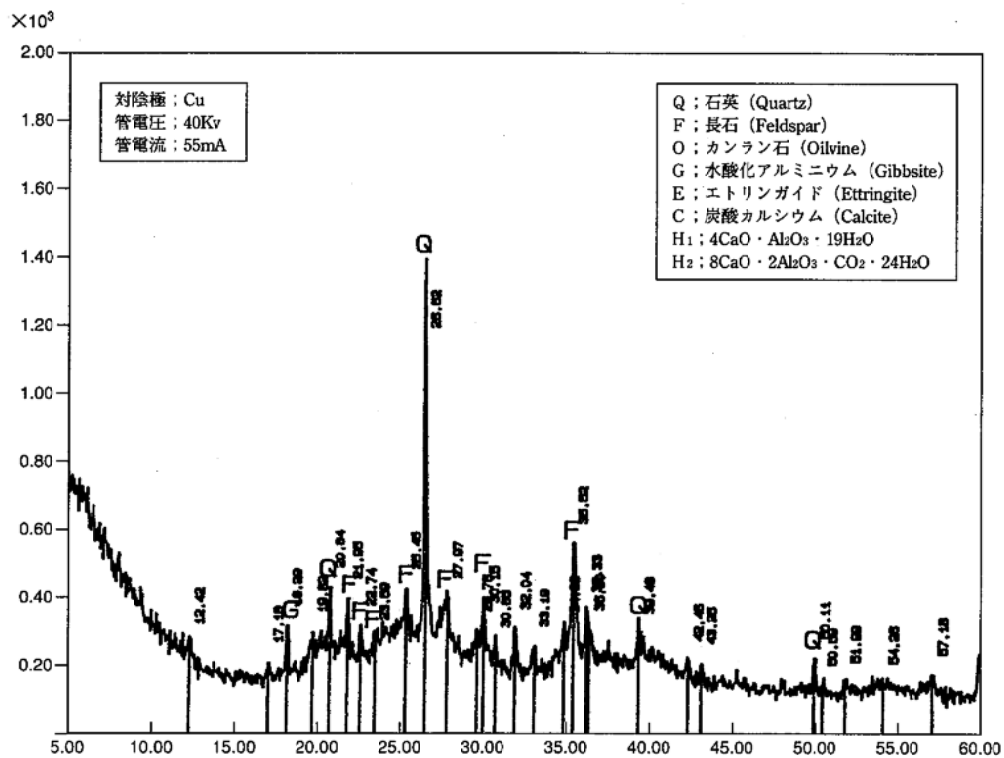
図一資 5.22 Si-5のX線回折パターン



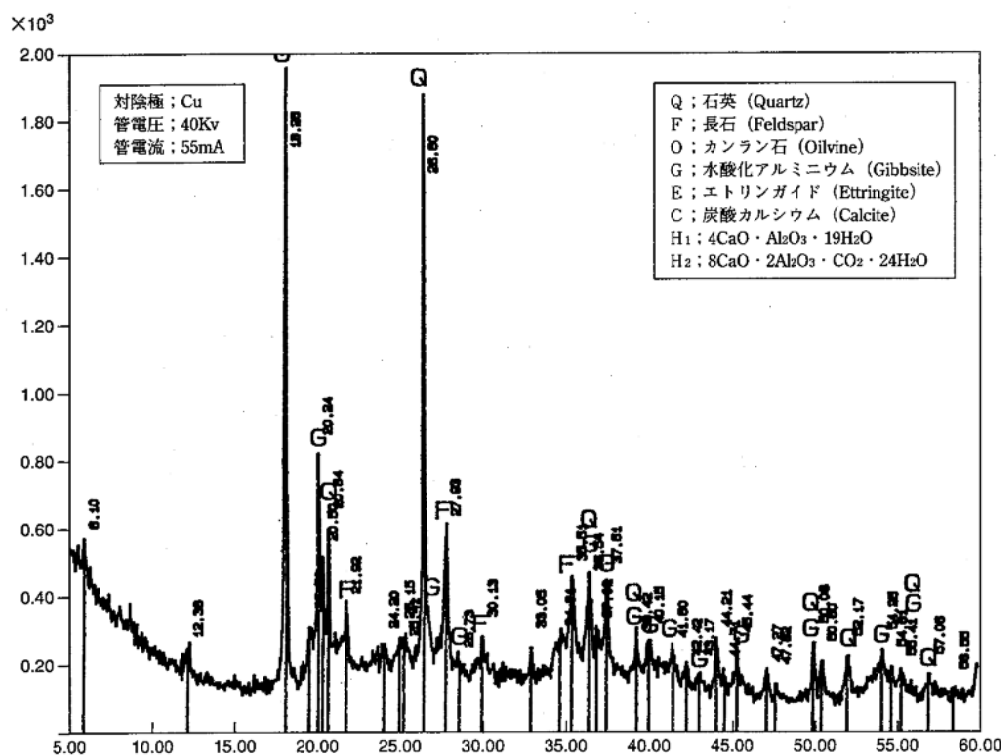
図一資 5.23 Si-10のX線回折パターン



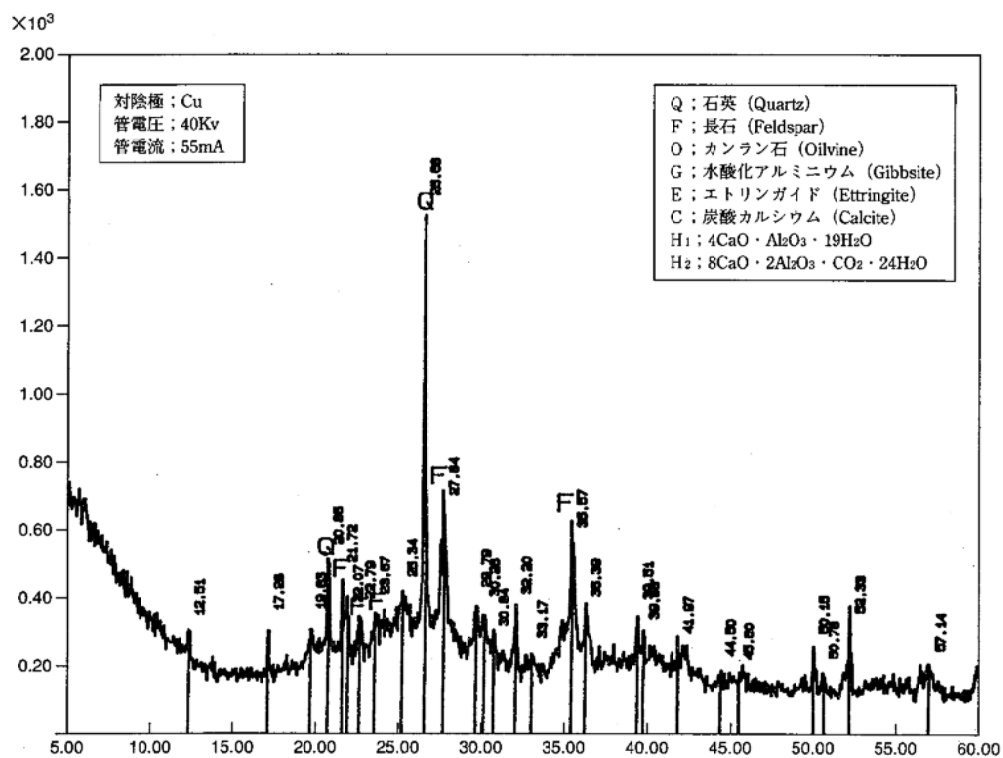
図一資 5.24 CeのX線回折パターン



図一資 5.25 Ci-5のX線回折パターン



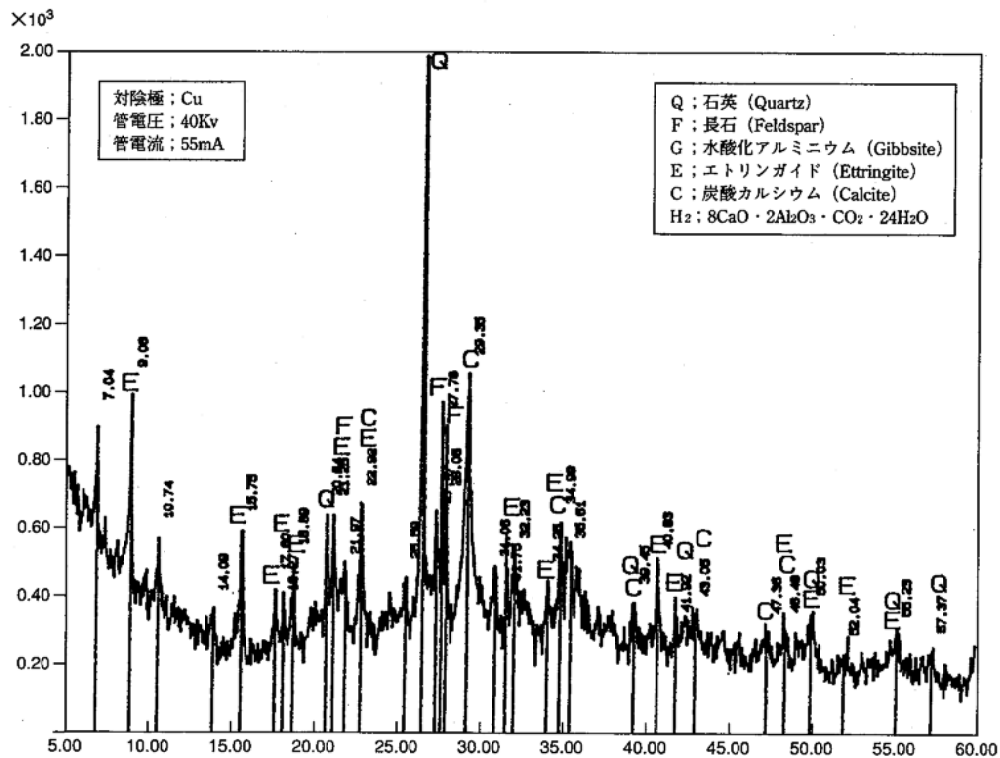
図一資 5.26 Ci-15のX線回折パターン



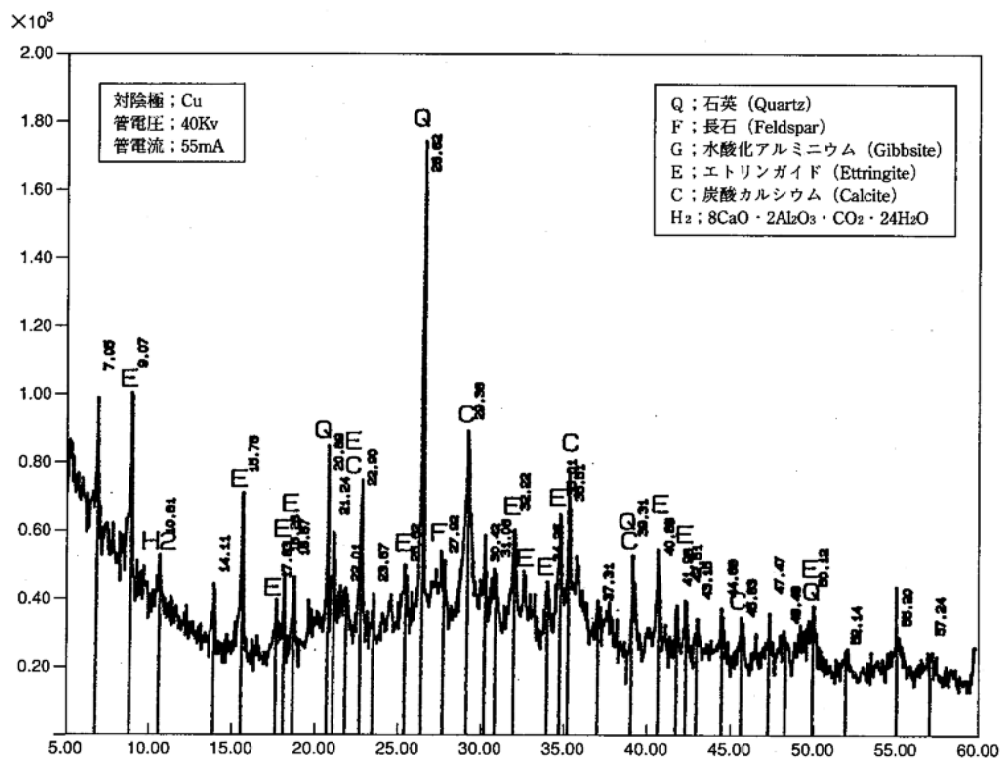
図一資 5.27 未改良土のX線回折パターン

材齢 3 年

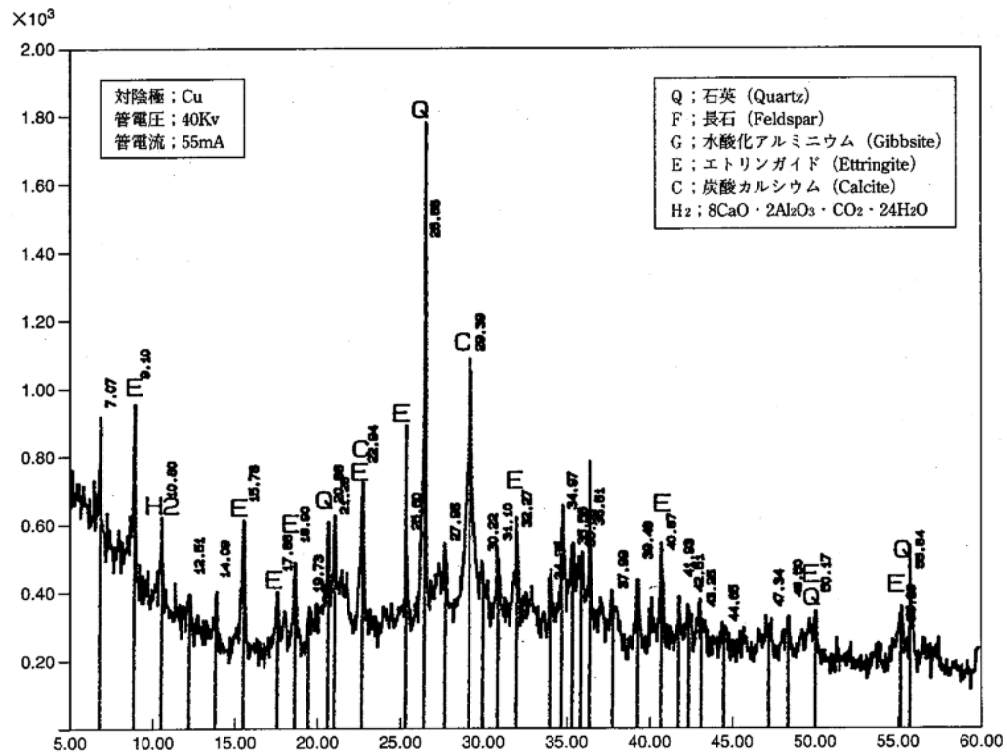
図一資 5.28～5.37



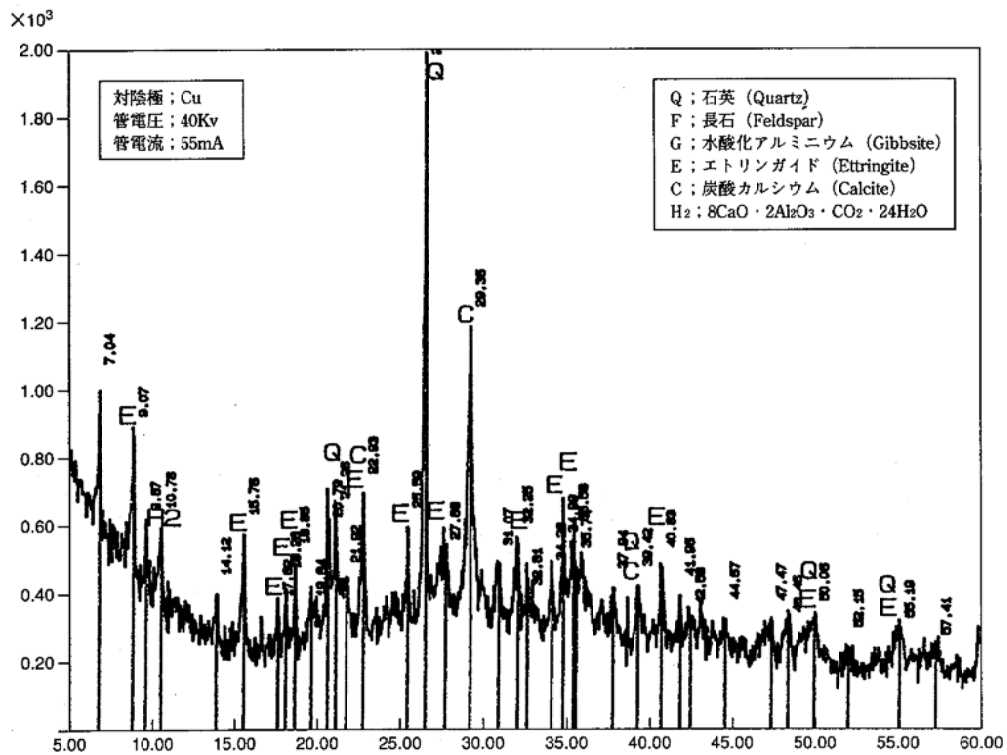
図一資 5.28 Su-1のX線回折パターン



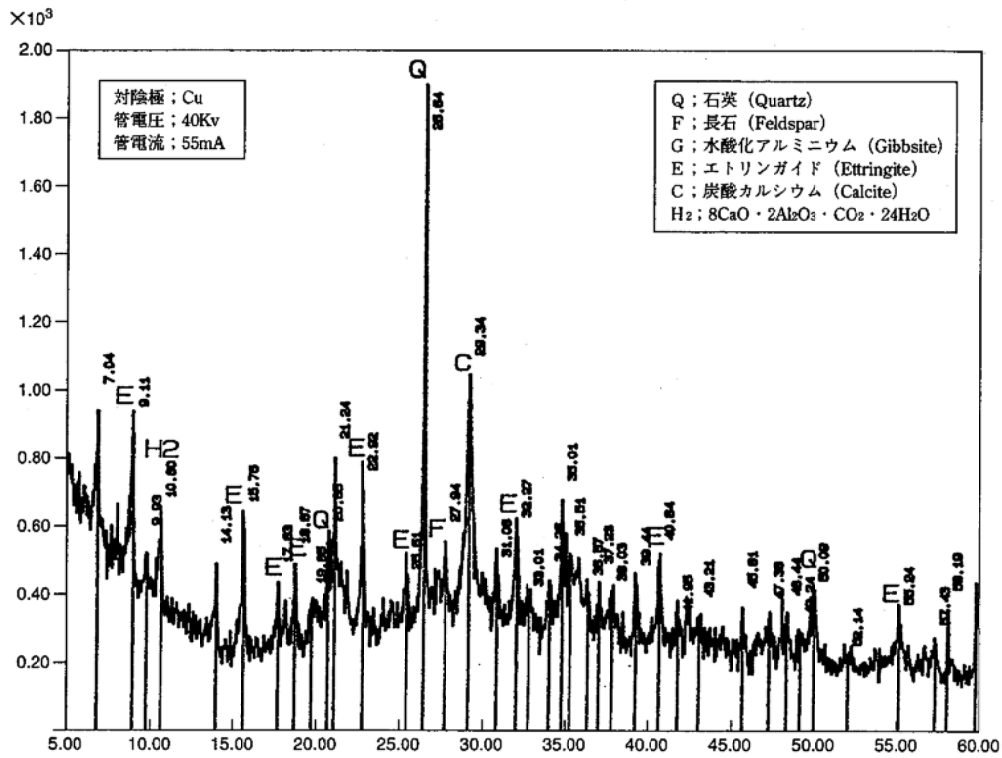
図一資 5.29 Su-5のX線回折パターン



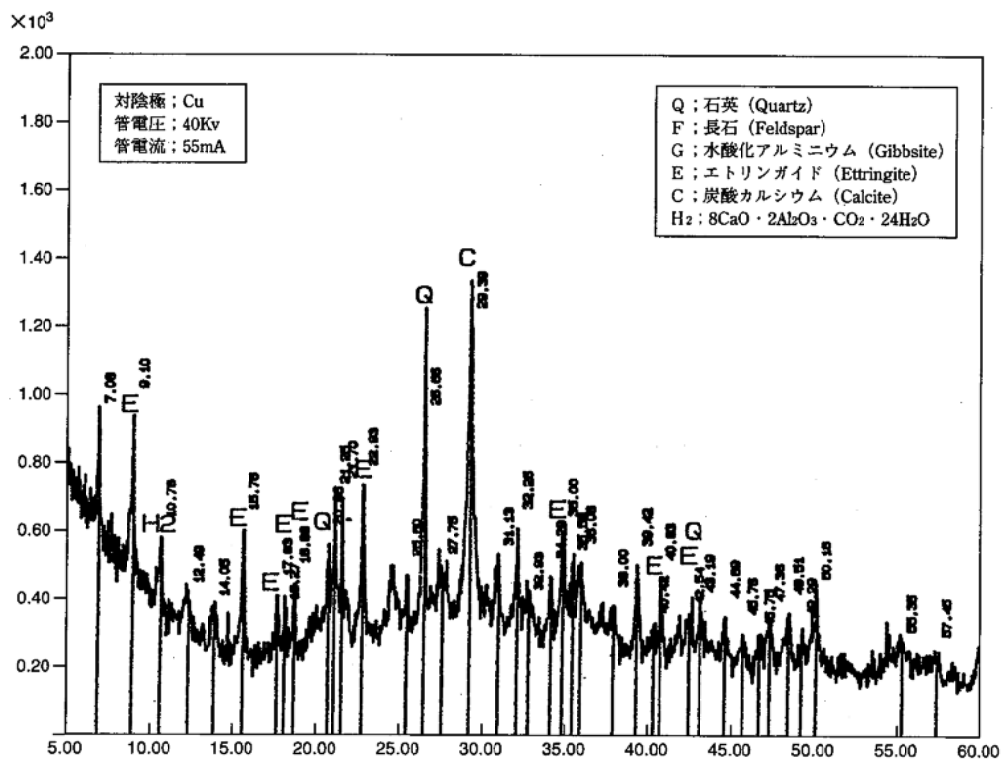
図一資 5.30 Su-10のX線回折パターン



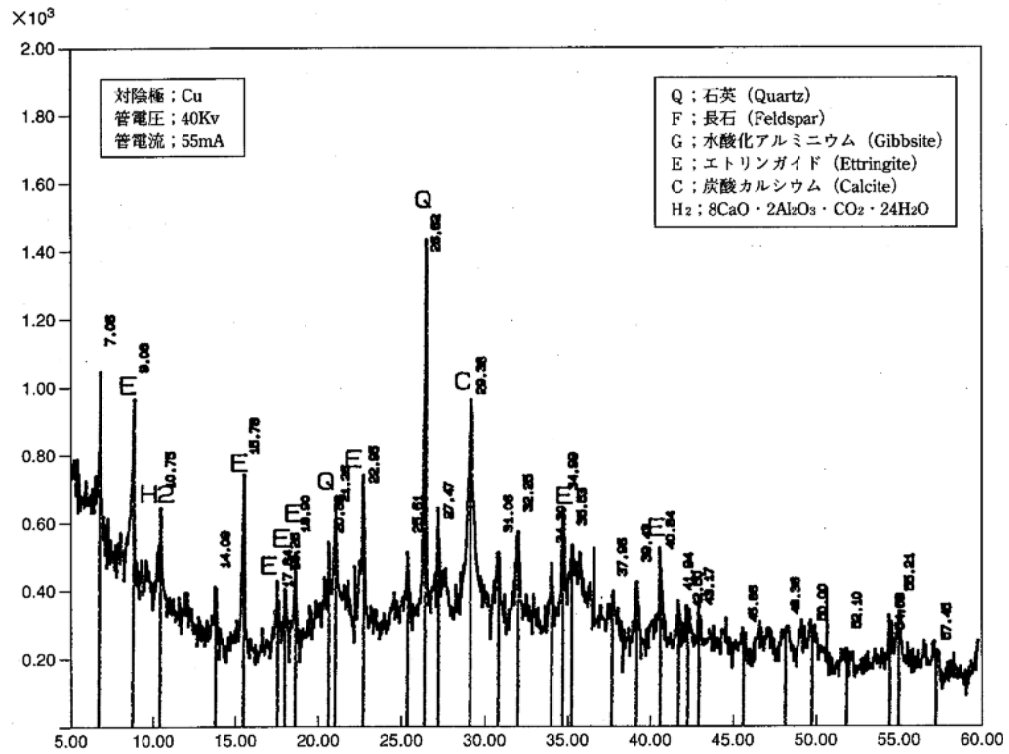
図一資 5.31 Si-1のX線回折パターン



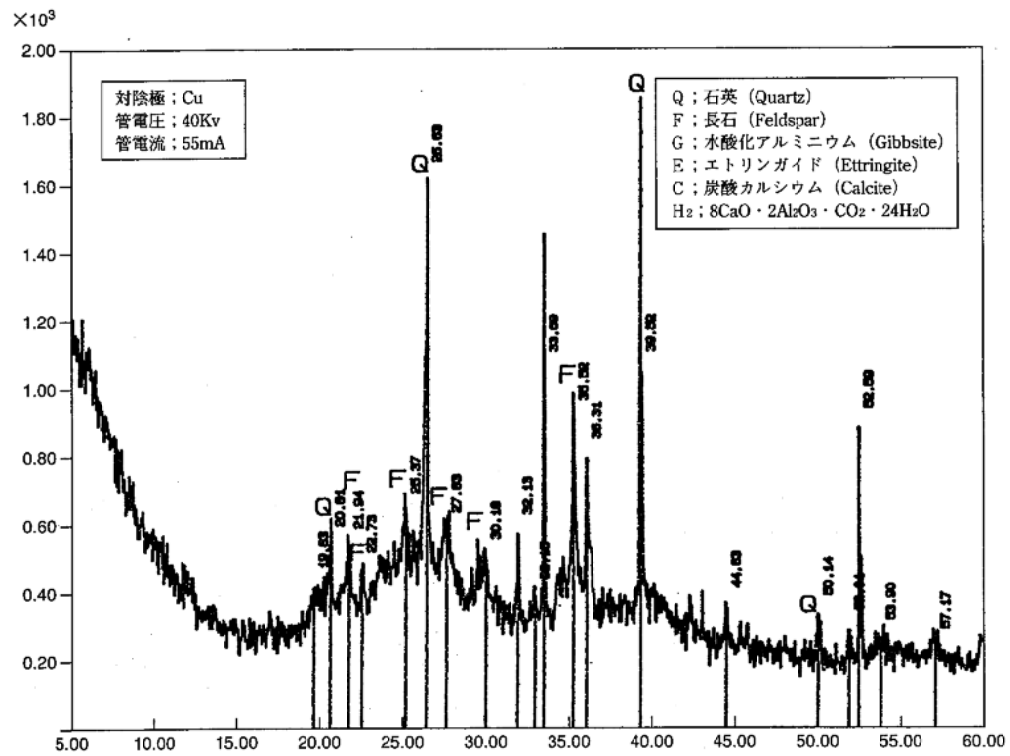
図一資 5.32 Si-5のX線回折パターン



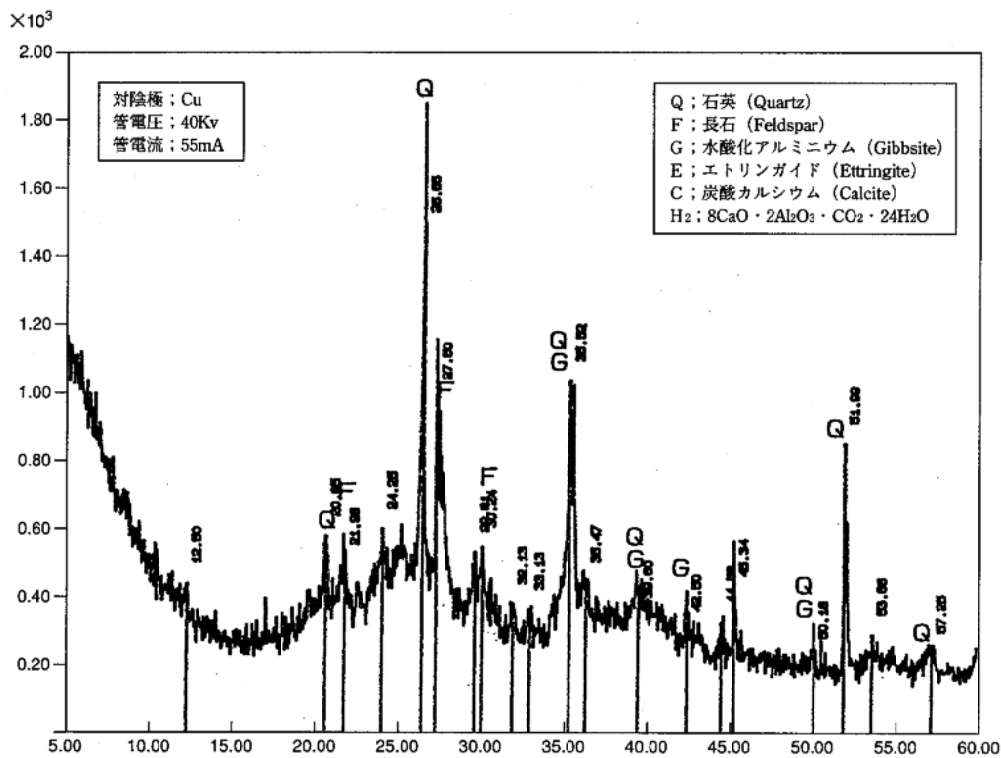
図一資 5.33 Si-10のX線回折パターン



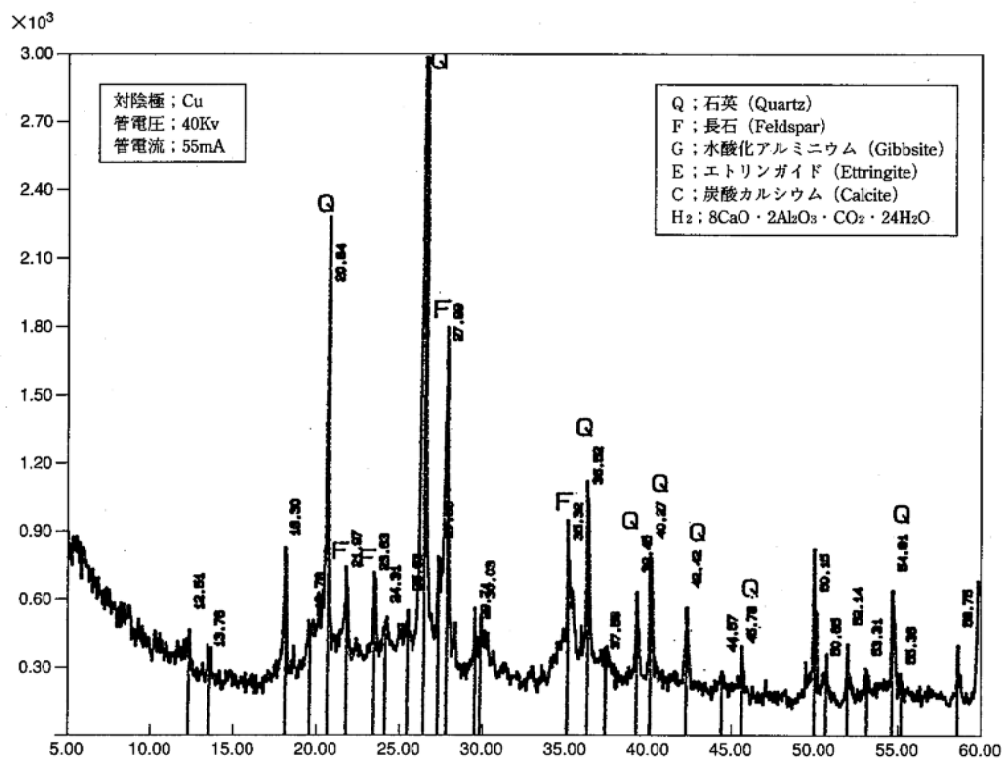
図一資 5.34 CeのX線回折パターン



図一資 5.35 Cl-5のX線回折パターン



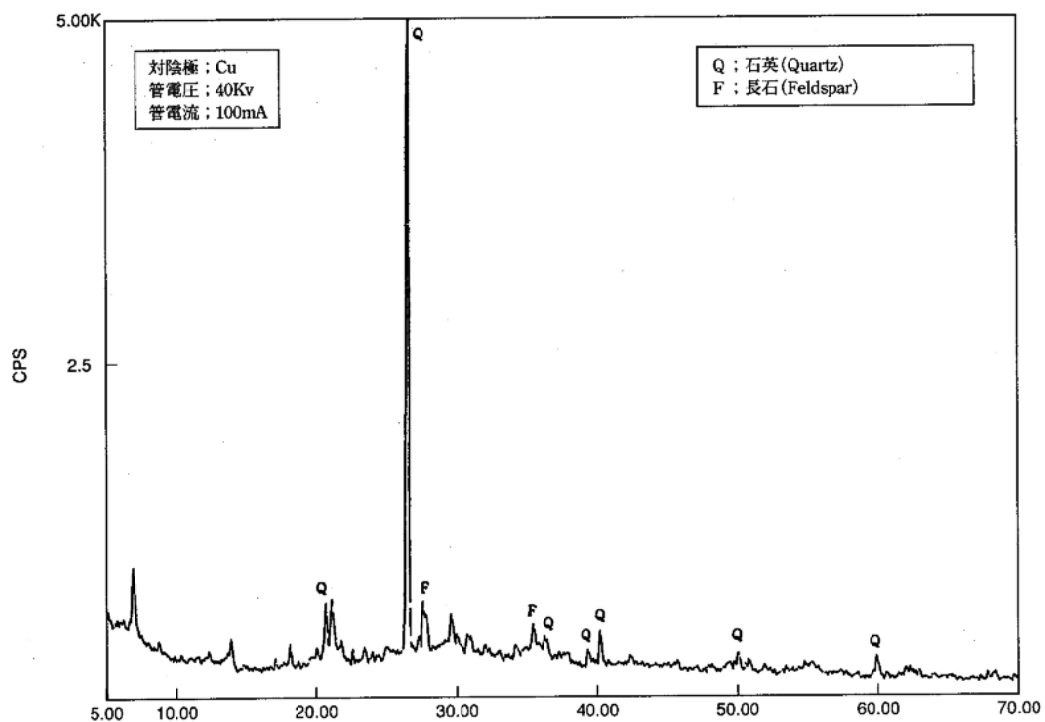
図一資 5.36 Ci-15のX線回折パターン



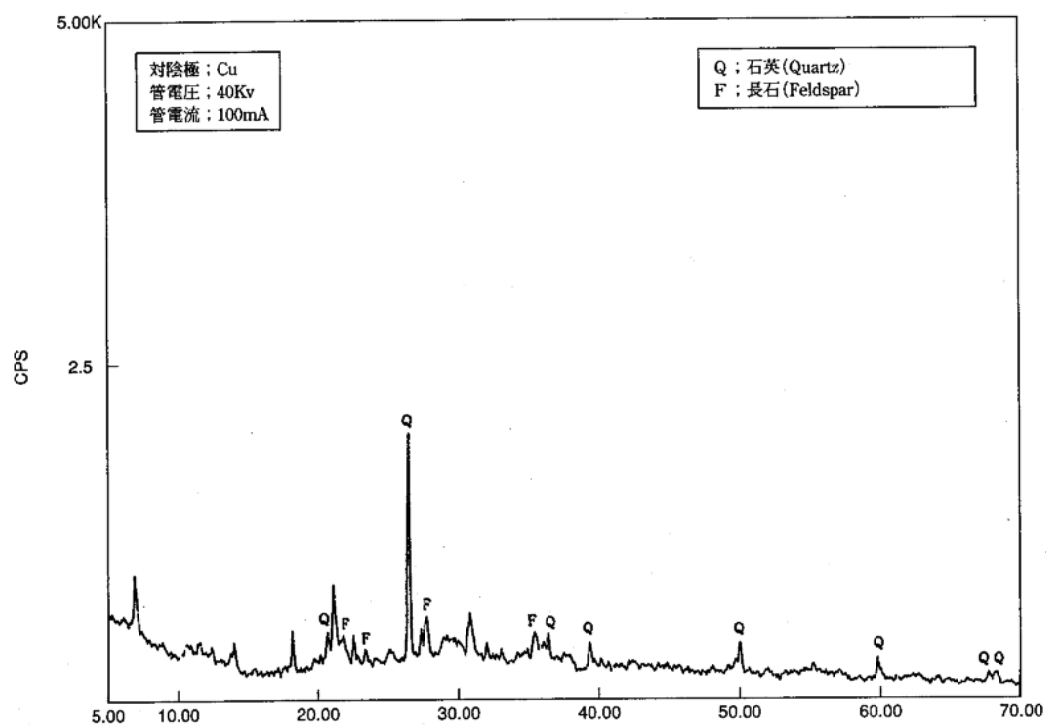
図一資 5.37 未改良土のX線回折パターン

材齢 5 年

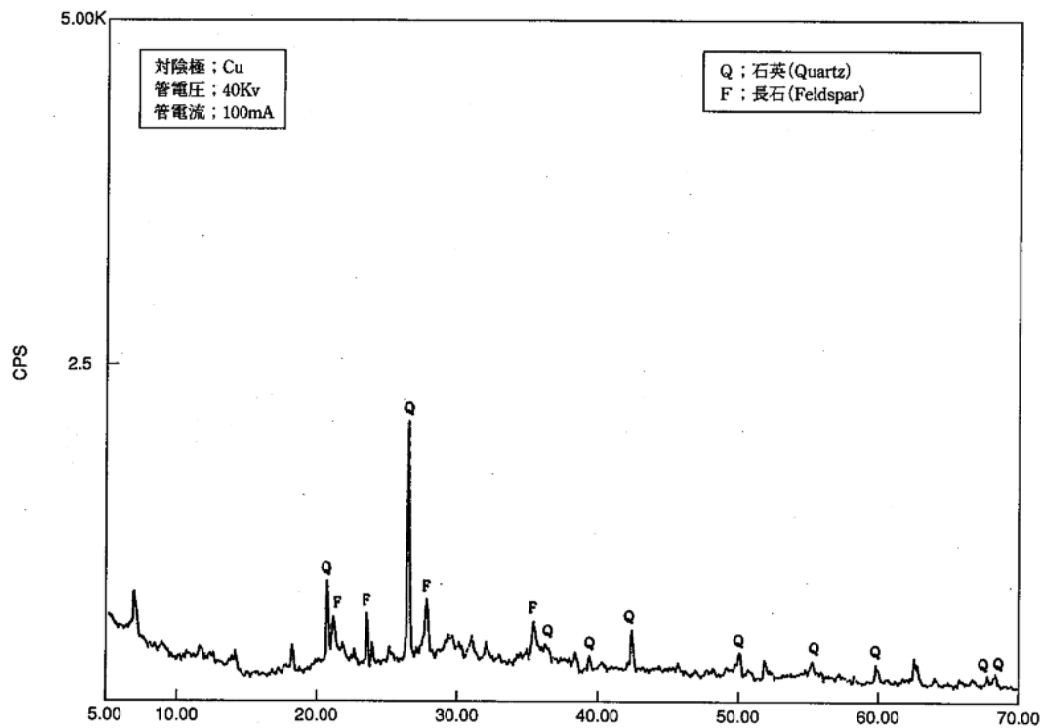
図一資 5.38～5.46



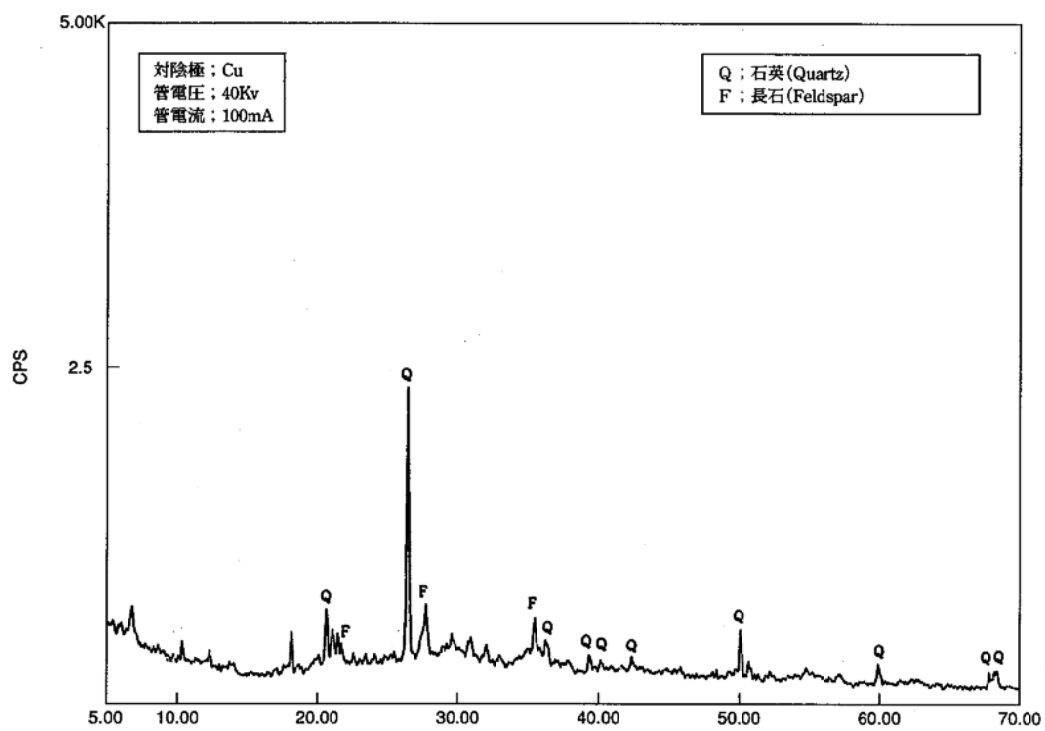
図一資 5.38 Su-1のX線回折パターン



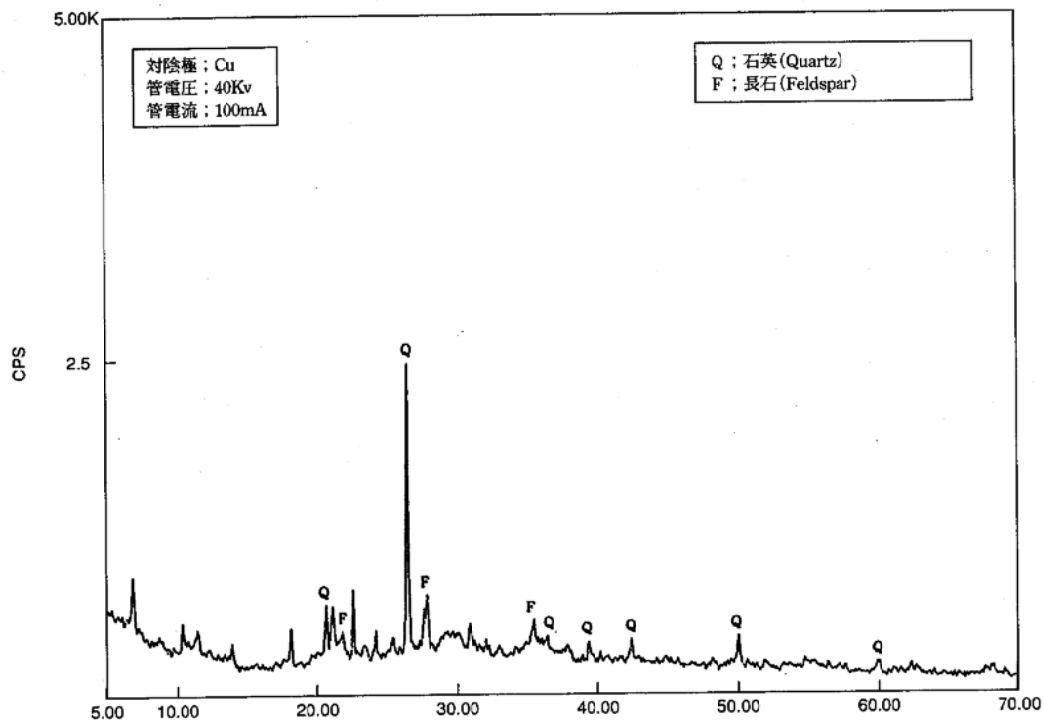
図一資 5.39 Su-5のX線回折パターン



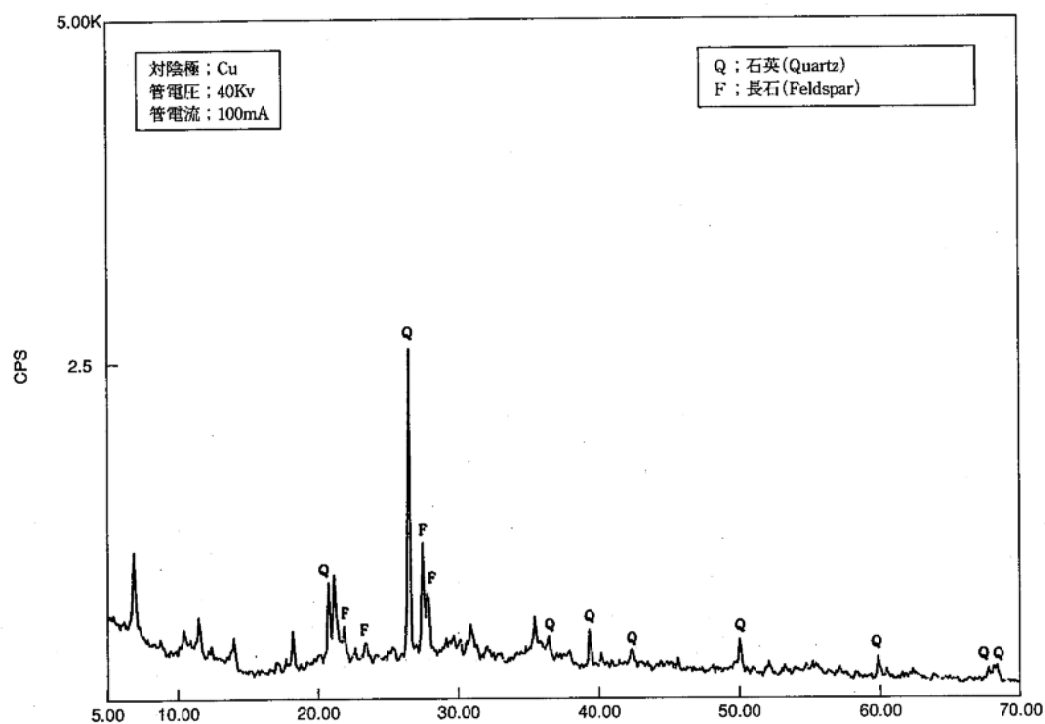
図一資 5.40 Su-10のX線回折パターン



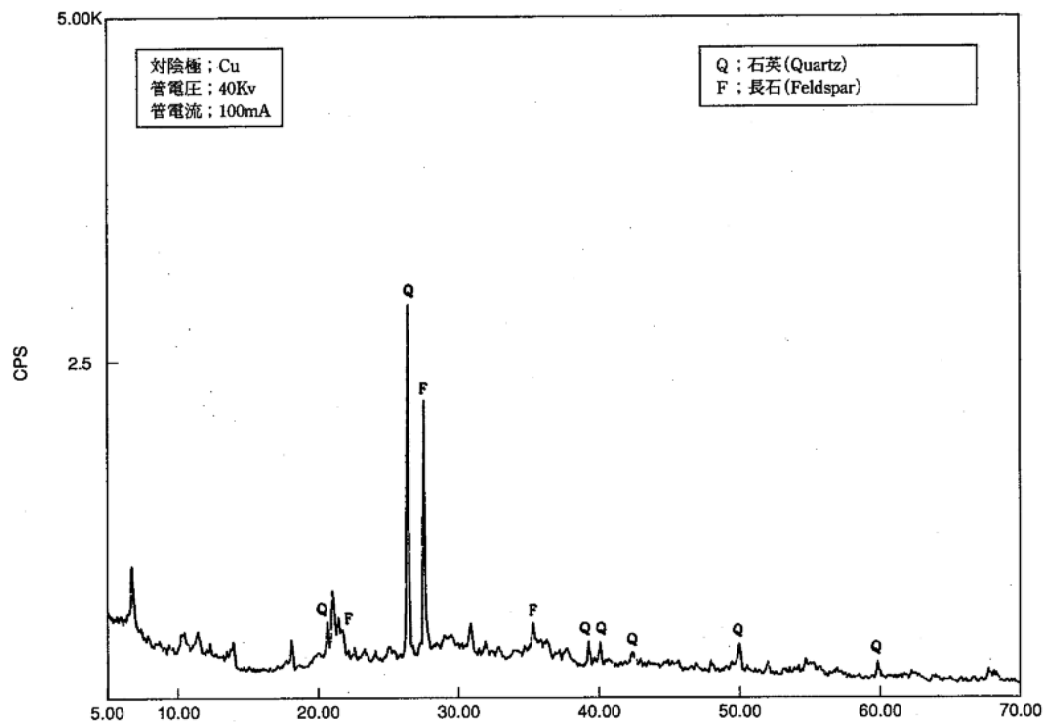
図一資 5.41 Si-1のX線回折パターン



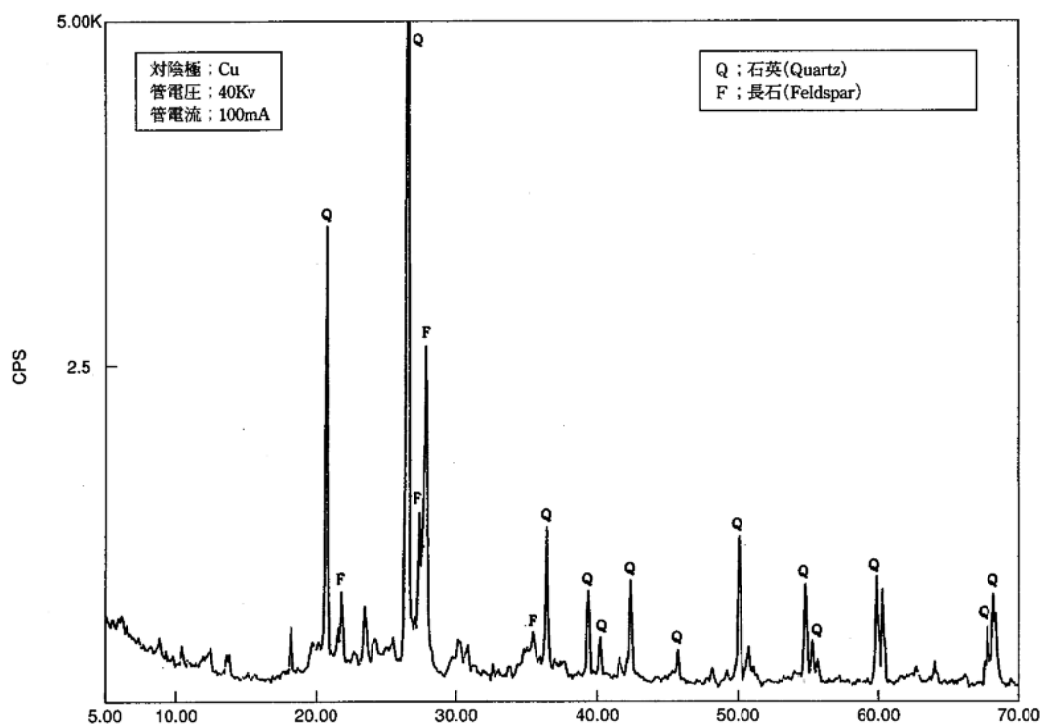
図一資 5.42 Si-5のX線回折パターン



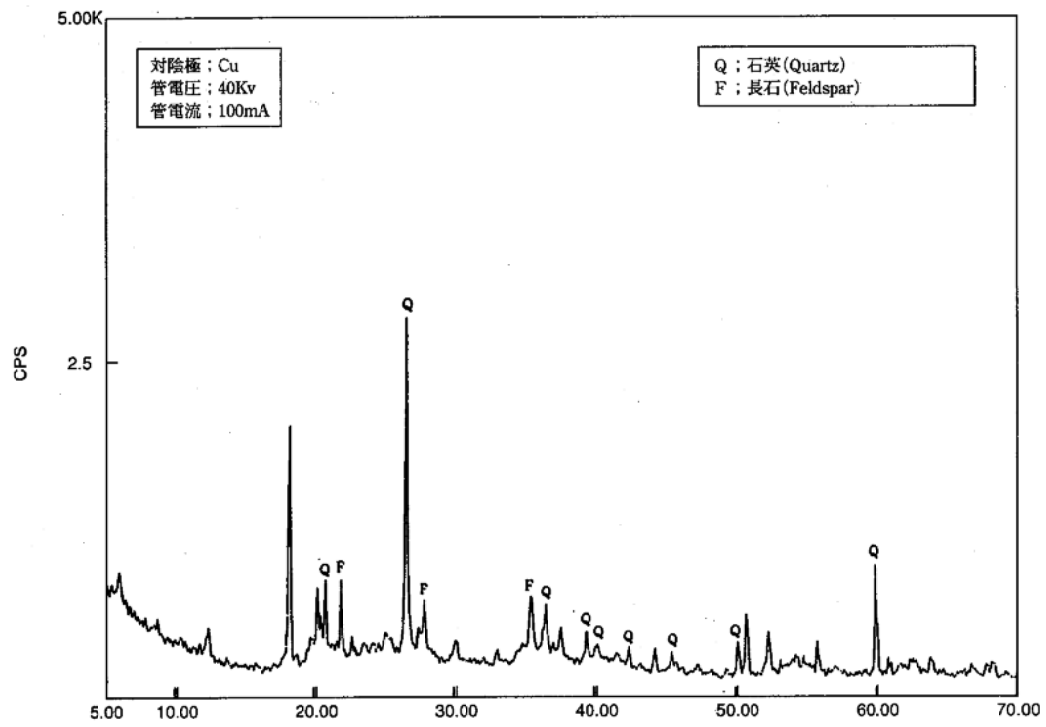
図一資 5.43 Si-10のX線回折パターン



図一資 5.44 CeのX線回折パターン



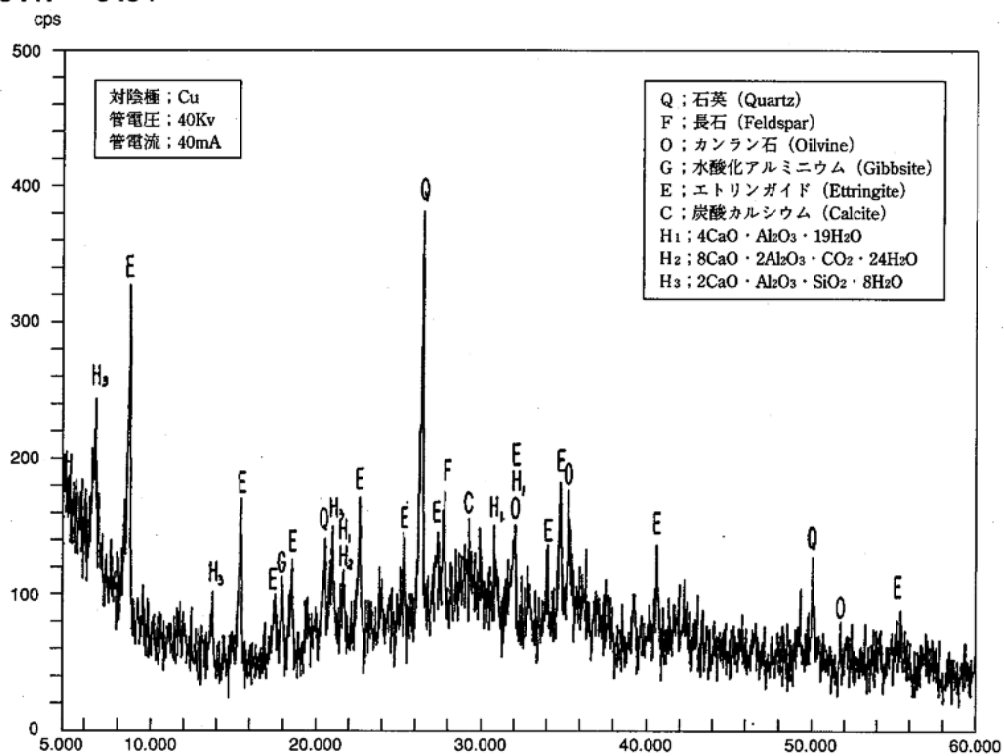
図一資 5.45 Ci-15のX線回折パターン



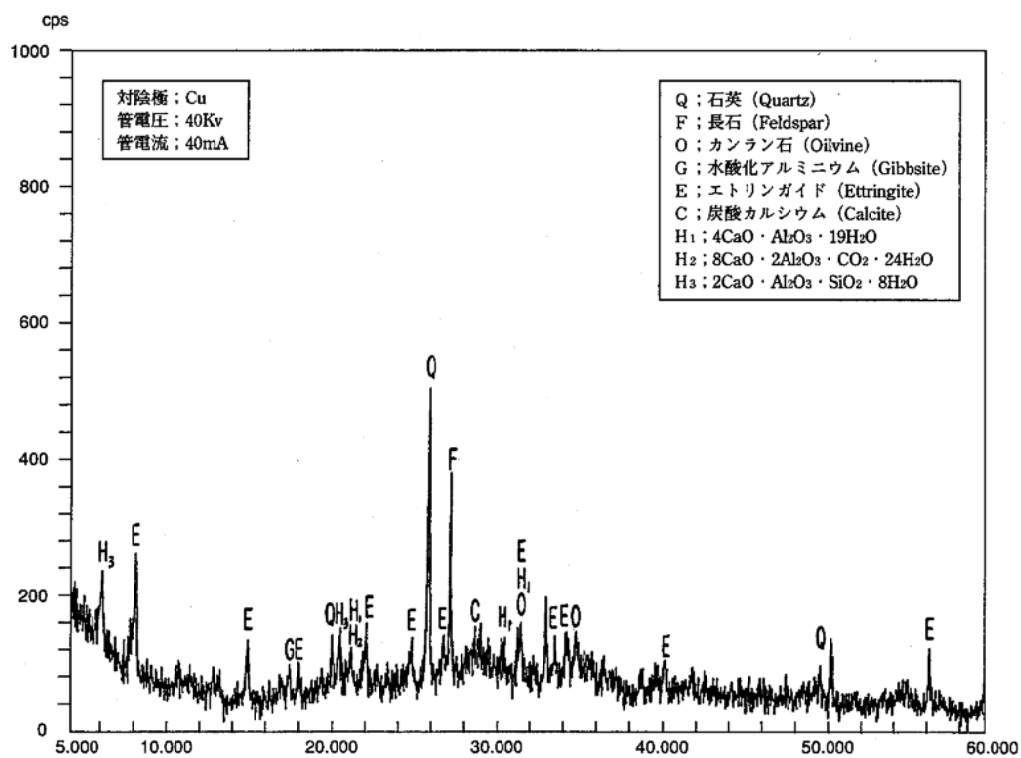
図一資 5.46 未改良土のX線回折パターン

材齢 7 年

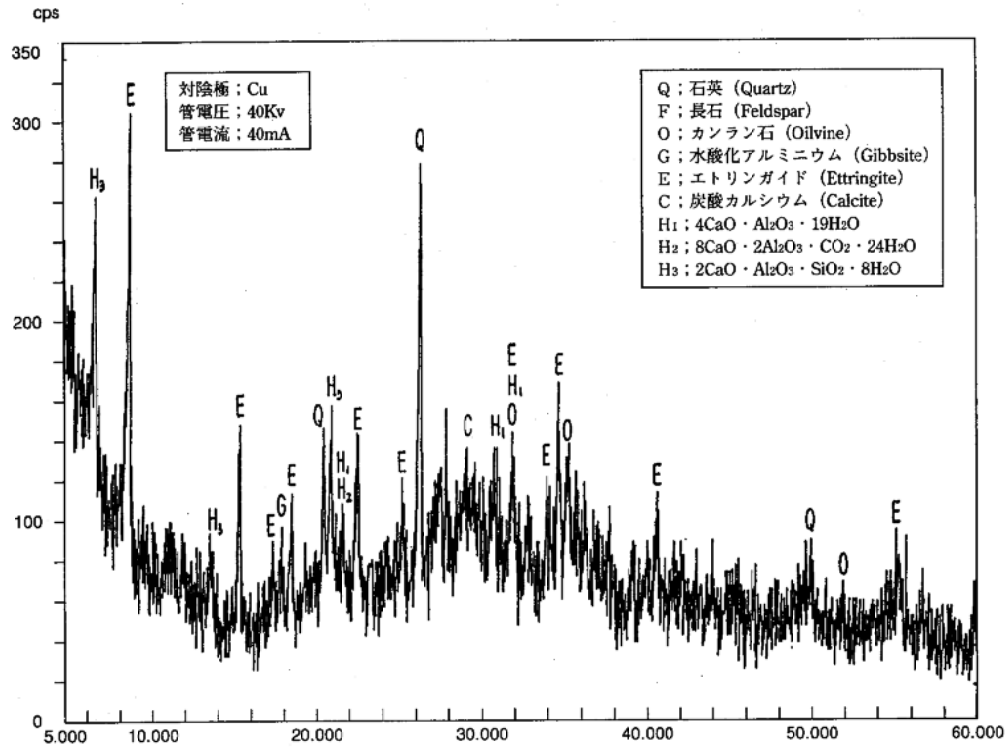
図一資 5.47～5.54



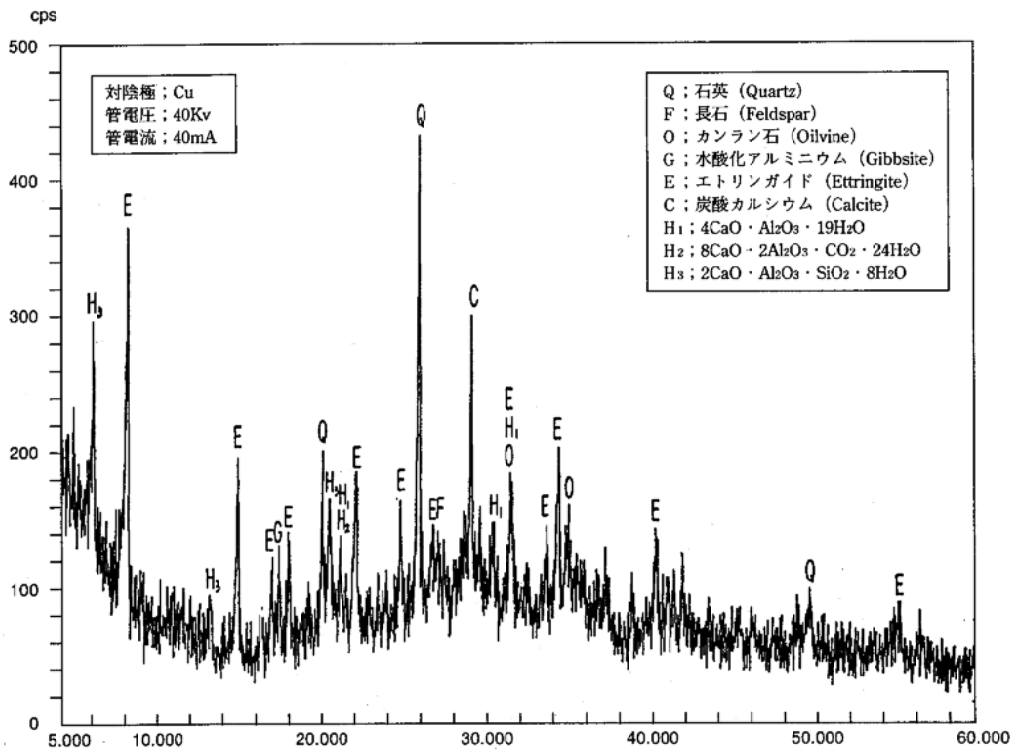
図一資 5.47 Su-1のX線回折パターン



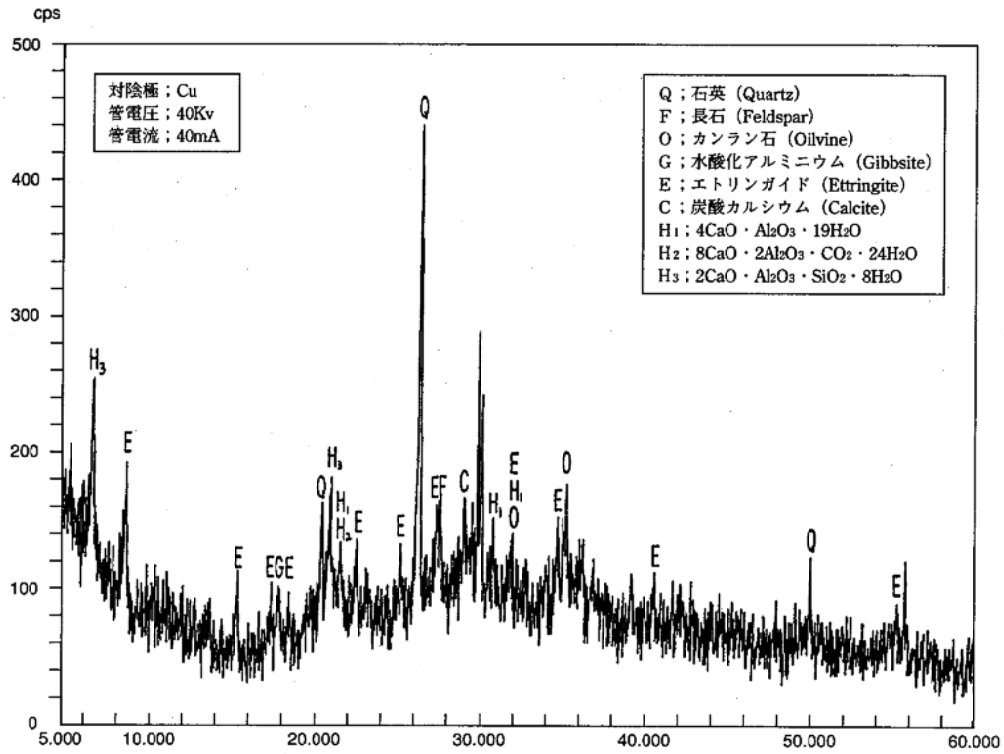
図一資 5.48 Su-5のX線回折パターン



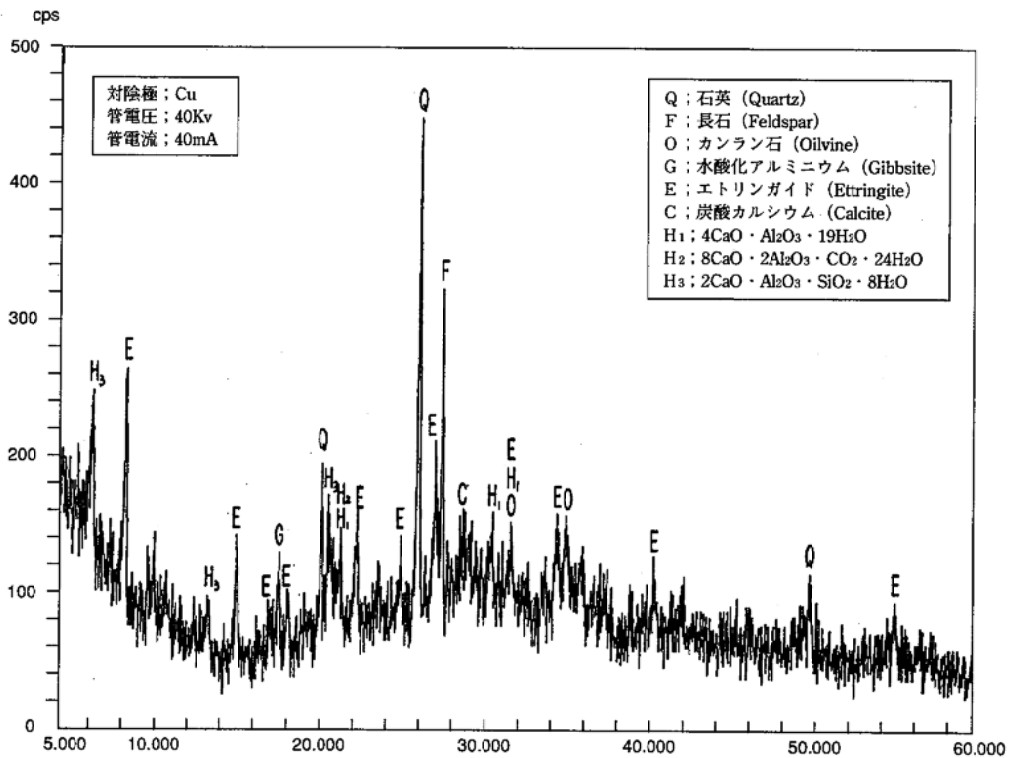
図一資 5.49 Su-10のX線回折パターン



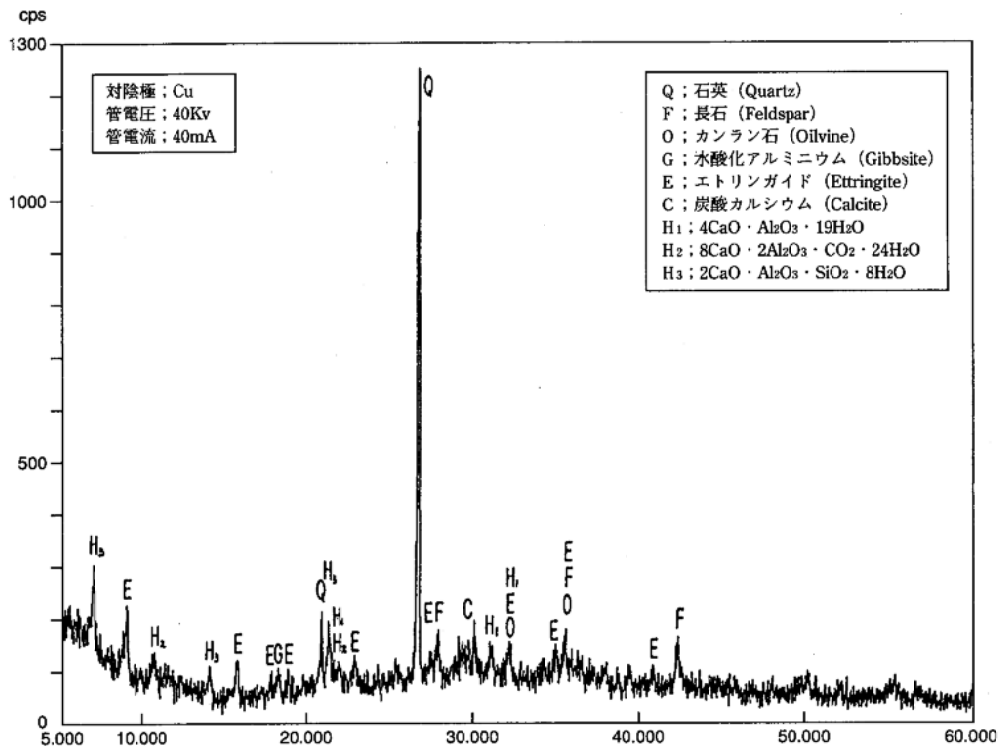
図一資 5.50 Si-1のX線回折パターン



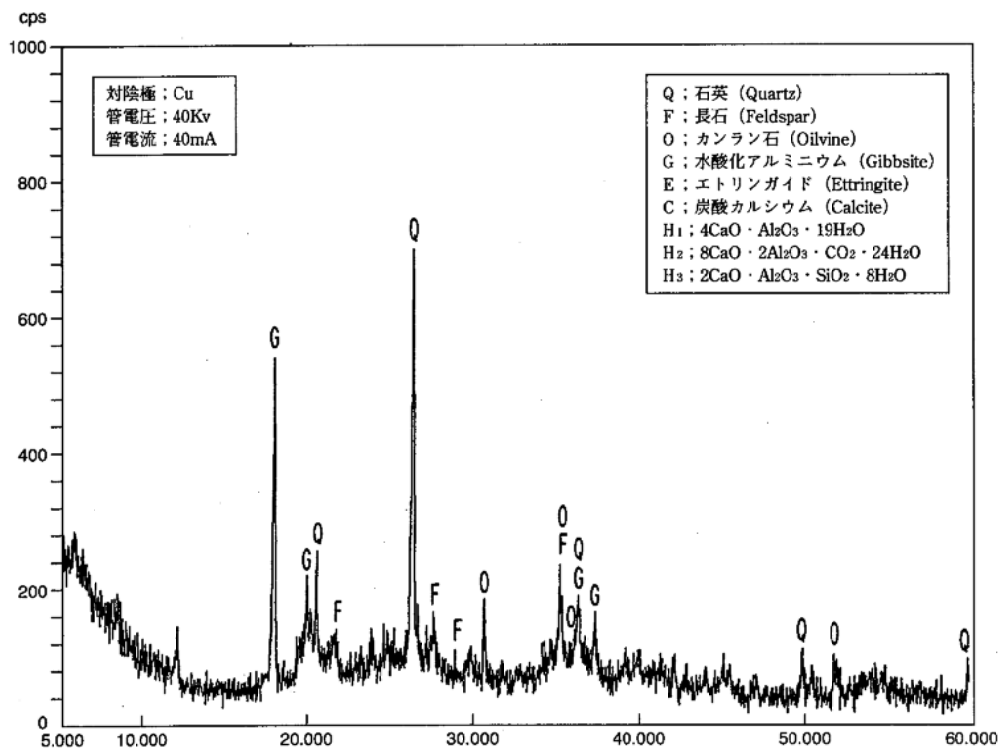
図一資 5.51 Si-5のX線回折パターン



図一資 5.52 Si-10のX線回折パターン



図一資 5.53 CeのX線回折パターン



図一資 5.54 Ci-15のX線回折パターン

研究報告

〔221〕セメント系固化材を用いた改良土の長期耐久性に関する研究(材齢7年試験結果報告)

(社)セメント協会 ○鈴木 章市 石崎 仁 酒巻 克之 高倉 篤

1. まえがき

セメント系固化材が誕生してから20年余り、その認知度及び需要も毎年確実に増加してきている。しかし、セメント・コンクリートに比べ、歴史がまだ浅いためその長期的な強度や耐久性についての報告はまだ少ない。そこで、セメント協会ではセメント系固化材を用いた改良体の長期耐久性を検証することを目的に、1990年から千葉県習志野市において、関東ローム地盤の現場試験施工で築造した改良体の追跡調査を実施している。

今回、材齢7年までの追跡調査結果について報告する。

キーワード セメント系固化材 耐久性 一軸圧縮強さ 改良体 pH 化学分析

2. 試験の概要

改良体の築造に当たり、対象土を関東ローム(含水比122.4%、湿潤密度1.325g/m³)とし、その材齢28日目一軸圧縮強さは10kgf/cm²とした。施工は、改良体を均一に打設するため、オーガーにてφ450mm×2000mmの掘削穴を10カ所造り、モルタルミキサー(0.5m³)で、関東ローム、水およびセメント系固化材を混練した。1バッチ(0.4m³)毎に掘削穴へ自然流下にて改良土を充填し、その上に約40cmに覆土を施した。掘削穴への混練り物の充填時に供試体を作製し(φ5×10cm)室内にて密封養生ならびに水中養生を行った。

改良体の掘り起こしは所定材齢時に1本ずつ行い、その試験材齢は28日、6ヶ月、1年、2年、3年、5年、7年、10年とした。試料は各材齢とも改良体において指定した位置より採取した。なお、分析用試料の表面部(A-Su)および側面部(A-Si)については覆土部分を切り落とし、深さ方向および中心方向にそれぞれ1、5、10cmの箇所を試料とした。試験項目は一軸圧縮試験および水和物の経時変化を確認するため化学分析(ig.loss、CaO)、pH、X線回折、SEM観察を行った。

表1 1 m³当たりの配合量

配合 (kg/m ³)		
試料土	水	固化材
600	525	200

3. 試験結果

(1) 一軸圧縮試験

材齢と一軸圧縮強さの関係を図1に示す。現場改良体の一軸圧縮強さは材齢2年まで材齢が進むとともに増加しているが、材齢2年以降の強さの増進は少ない。また、材齢3年では、中心部(C-Ce)を除き強さの低下が見られるが、これは、改良体を築造する際のバッチ間のばらつきによるためと考えられる。室内水中養生供試体は材齢2年から5年にかけて低下しており、材齢毎のばらつきが認められる結果となった。

(2) 化学分析

材齢と CaO、pH および ig.loss の関係を図 2 に示す。改良体の表面部 (Su)、側面部 (Si) および中心部 (Ce) を比較してみると、CaO、pH は周辺部に近い部分 (Su-1、Si-1) で若干低下傾向にあるが、全般的に大きな差異は認められなかった。また改良体と改良体周辺部の未改良土 (Ci) との比較では、CaO および pH で大きな差が認められた。これから改良体の水和物等がほとんど外部に浸透していないと考えられる。ig.loss については材齢 6 ヶ月を除きわずかに増加する傾向にあった。また、改良体周辺部の未改良土 (Ci) の ig.loss は多少のばらつきはあるものの、材齢とともに増加する傾向にあった。

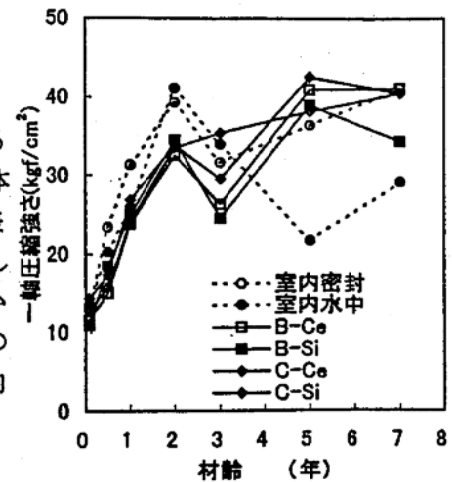


図 1 材齢と一軸圧縮強さの関係

(3) X線回折およびSEM観察結果

X線回折の結果、未改良土および改良体周辺部では、石英、長石類などの鉱物類のピークが認められ、セメントの組成物や水和物は確認されなかった。改良体では未改良土に認められた石英、長石類等のピークに加え、エトリンガイト等の水和物のピークが確認された。また、採取位置の違いによる顕著な差異はなかった。

写真 1 に Su-5 の SEM 写真を示す。SEM 観察では、各材齢において改良体周辺部の未改良土では土粒子のみが確認されたが、改良体では材齢 7 年経過時でも水和物の中にエトリンガイトが認められた。強さ試験で一軸圧縮強さの伸びは無くなってきているが水和物は安定しているものと思われる。

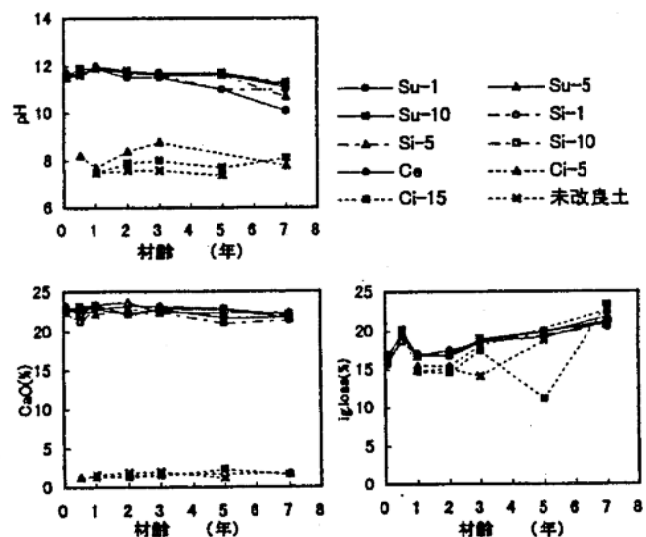


図 2 材齢と CaO、pH および ig.loss の関係

4. まとめ

(1) 改良体の一軸圧縮強さは各材齢でバッチが異なるためのばらつきがあるものの、材齢 2 年までは著しい強度の増進が見られたが、それ以降の増進は少ない傾向にあった。

(2) 化学成分において表面部、側面部および中心部を比較すると、全般的に大きな差は認められなかった。ig.loss については材齢の経過とともに若干増加する傾向が見られた。

(3) X線回折の結果、改良体では鉱物類、エトリンガイト等の水和物のピークが認められた。SEM 観察においても改良体では同様にエトリンガイトが認められた。

以上のことより、材齢 7 年までの改良体の耐久性は維持されていると考えられる。



写真 1 Su-5 の SEM 写真

1099

セメント系固化材を用いた固化処理土の長期耐久性に関する研究
—材齢7年試験結果報告—

(社)セメント協会	正会員	○箕輪 勉
同 上	正会員	石崎 仁
同 上	正会員	酒巻克之
同 上	正会員	鈴木章市
同 上	正会員	高倉 篤

1. はじめに

セメント系固化材を用いた各種改良土の力学的性質等については、かなり明らかにされてきているものの、長期の耐久性については報告された事例が少ないのが現状である。

セメント協会ではセメント系固化材による改良土の長期耐久性の把握を目的に、1990年から千葉県習志野市にて関東ローム地盤の現場試験施工で築造した改良柱体の追跡調査（コア採取による一軸圧縮強さ、化学分析等）を実施している。本報告は、材齢7年までの追跡調査結果を取りまとめたものである。

2. 試験概要

改良体の築造にあたっては、材齢28日の目標一軸圧縮強さを10kgf/cm²とし、1m³当たりの配合量を表1に示す。また、対象土は関東ローム（Wn=122.4%, $\rho_t=1.325\text{g/cm}^3$ ）とした。施工は、改良体の均一打設を図るためにオーガーで $\phi 450\text{mm} \times 2000\text{mm}$ の掘削穴を10カ所造り、モルタルミキサー（0.5m³）で関東ローム、水およびセメント系固化材を混練し、1パッチ（0.4m³）毎に掘削穴へ固化処理土を充填した。なお、この上に40cm程度の覆土を施した。また、現場養生と室内養生の強さを比較するため、各掘削穴への混練り充填時にモールド（ $\phi 5 \times 10\text{cm}$ ）にて改良土を採取し、封緘養生ならびに水中養生を行った。

改良柱体の掘り起こしは所定材齢時に1本ずつ行い、試験材齢は28日、6ヶ月、1年、3年、5年、7年、10年とした。試料は各材齢ともに改良柱体において、図1に示す位置にて採取した。なお、分析用試料の表面部（A-Su）および側面部（A-Si）においては覆土を削り落とし、深さ方向および中心方向にそれぞれ1, 5, 10cmの箇所を試料とした。試験項目は、一軸圧縮試験および水和物の経時変化を把握するために化学分析（ig. loss, CaO）、pH、X線回折、SEM観察とした。

3. 試験結果

(1) 一軸圧縮試験

材齢と一軸圧縮強さの関係を図2に示す。現場改良柱体の一軸圧縮強さは材齢2年までは材齢の経過とともに増加しているが、材齢2年以降の強さの増進は少ない。また、材齢3年では、中心部（C-Ce）を除き強さが低下しているが、これは、改良柱体を築造する際のパッチ間のばらつきによるためと考えられる。室内水中養生供試体の一軸圧縮強さは、材齢2年から5年にかけて低下しており、材齢毎のばらつきが認められた。

表1 1m³当たりの配合量

試料土	配合 (kg/m ³)		水固化材比 (%)
	水	固化材	
600	525	200	262.5

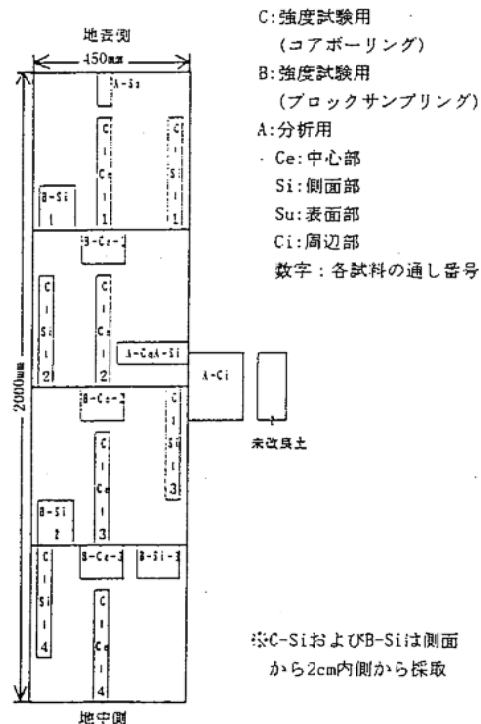


図1 改良柱体の試験用試料の採取位置

A study on long term character of the soil-cement column improved by soil stabilizer —Testing results on the seven year lapse after improving work—; Tsutomu MINOWA, Hitoshi ISHIZAKI, Katsuyuki SAKAMAKI, Syoichi SUZUKI and Atsushi TAKAKURA (Japan Cement Association)

(2) 化学分析

材齢とCaO、pHおよびig. lossの関係を図3に示す。改良柱体の表面部(Su)、側面部(Si)、中心部(Ce)を比較すると、CaO、pHが周辺部に近い部分(Su-1, Si-1)で多少低下傾向にあるものの、全般的に大きな差異はなかった。また、改良柱体と改良柱体周辺部の未改良土(Ci)を比較すると、CaOおよびpHは大きな差異が認められ、改良柱体の水和物等がその周辺部へほとんど浸透していないと考えられる。ig. lossは改良柱体の各部分間において差異はなく、材齢6ヶ月を除きわずかに増加する傾向にあった。また、改良柱体周辺部の未改良土(Ci)のig. lossも材齢によりばらつきはあるものの概して材齢とともに増加する傾向にあった。なお、材齢5年のCi-15においてig. lossが低下しているが、これは改良柱体を掘り起こした後に土を埋め戻しており、その際に混入した物性の異なる土質を採取したためと考えられる。

(3) X線回折およびSEM観察結果

材齢7年における改良柱体側面部(Si-1)のX線回折図を図4に示す。X線回折の結果、未改良土および改良柱体周辺部の未改良土は石英、長石などの鉱物類のピークが認められ、セメントの組成物や水和物のピークは認められなかった。一方、改良体では未改良土のピークに加え、エトリンガイト等の水和物のピークが認められた。また、採取位置の違いによる顕著な差異は認められなかった。

SEM観察によれば、いずれの材齢においても改良柱体周辺部の未改良土では土粒子のみが確認された。一方、改良柱体では材齢7年経過時においてもエトリンガイトが認められ、一軸圧縮強さの伸びはなくなったものの、水和物は安定しているものと考えられる。

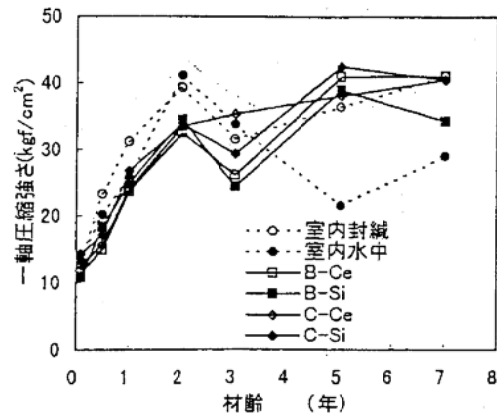


図2 材齢と一軸圧縮強さの関係

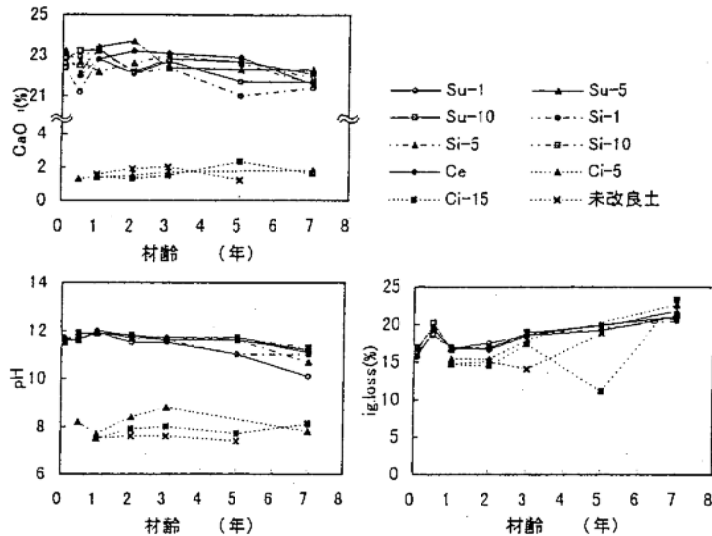


図3 材齢とCaO、pHおよびig. lossの関係

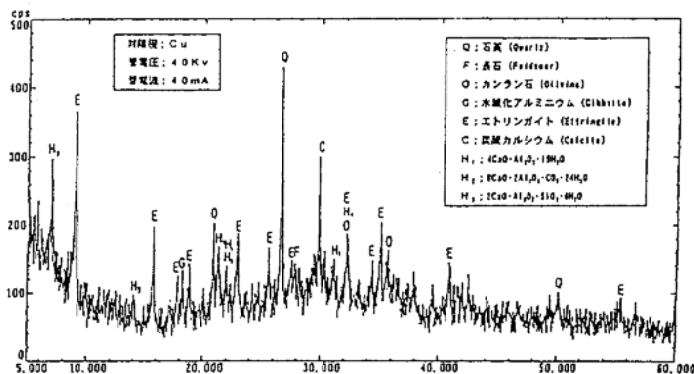
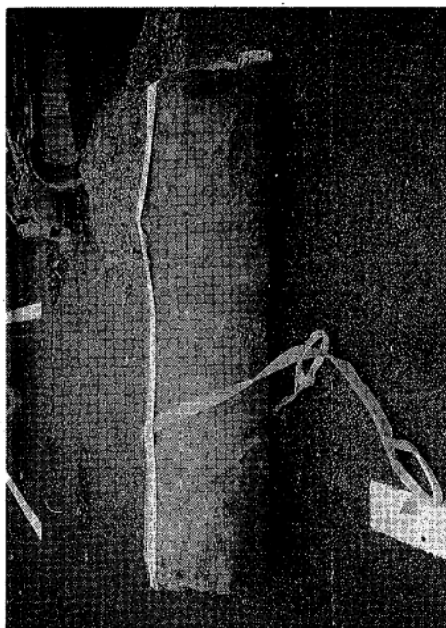


図4 材齢7年におけるX線回折図(Si-1)

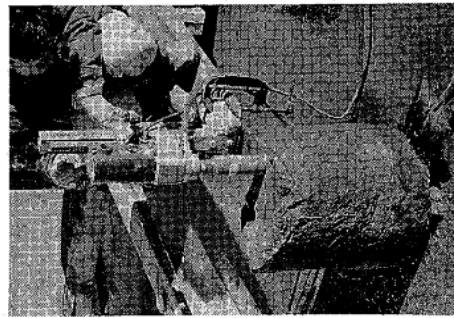
4. まとめ

本報告の範囲内で得られた結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 改良体の一軸圧縮強さは各材齢でバッチが異なるためばらつきがあるものの、材齢2年までは増進が著しいのに対し、材齢2年以降は増進が少ない傾向にあった。
 - (2) 化学成分は表面部と側面部と中心部とを比較すると、全般的に大きな差異はなかった。また、ig. lossは材齢の経過とともに若干増加する傾向にあった。
 - (3) X線回折の結果、改良柱体は鉱物類、エトリンガイト等の水和物のピークが認められた。また、SEM観察においても改良柱体にエトリンガイトが認められた。
- 以上のことから、材齢7年までの改良柱体の工学的特性は維持されていると考えられる。



90年にスタートした改良柱の張り起こし状況



改良柱体 (付録7年)からのコア採取状況

セメント系固化材の地区別販売量の推移

	95年度	96年度	97年度
北海道	156 (▲13.4)	180 (▲15.4)	156 (▲13.4)
東北	416 (▲14.4)	476 (▲14.4)	416 (▲14.4)
関東	2,003 (▲4.1)	2,101 (▲4.9)	1,859 (▲11.5)
中部	381 (▲28.8)	419 (▲10.0)	425 (▲1.4)
北陸	381 (▲28.8)	419 (▲10.0)	713 (▲5.6)
関西	1,210 (▲7.8)	1,253 (▲3.6)	1,194 (▲4.7)
中国	66 (▲38.3)	87 (▲31.8)	100 (▲14.9)
四国	322 (▲28.0)	414 (▲28.6)	388 (▲6.3)
九州	402 (▲10.1)	470 (▲16.9)	485 (▲2.7)
合計	5,538 (▲16.7)	6,075 (▲8.7)	5,732 (▲5.7)

単位=千t、カッコ内は前年度比増減率(▲は減) %。セメント協会調べ

固化材の普及拡大図る

セメント協会

リサイクルなど新たな分野で用途を拡大

セメント協会が、環境にやさしい建設資材として、セメント系固化材の新たな分野での用途拡大を図っている。セメント系固化材は、セメントと土質を混合して固めることで、土質の強度を高め、安定性を向上させることができる。この技術は、道路の補修や、土壌の改良などに広く利用されている。また、セメント系固化材は、リサイクル材を利用することで、環境負荷を低減することができる。セメント協会は、このような取り組みを通じて、持続可能な建設資材の提供を目指している。

セメント系固化材は、セメントと土質を混合して固めることで、土質の強度を高め、安定性を向上させることができる。この技術は、道路の補修や、土壌の改良などに広く利用されている。また、セメント系固化材は、リサイクル材を利用することで、環境負荷を低減することができる。セメント協会は、このような取り組みを通じて、持続可能な建設資材の提供を目指している。

固化材セミナーを開催し新技術情報提供

セメント協会は、11月10日(火)に東京・有明コロシアムで「固化材セミナー」を開催した。このセミナーでは、固化材の最新の技術情報や、施工方法について、専門家が講演を行った。また、質疑応答の時間もあり、参加者からは多くの質問が寄せられた。セメント協会は、今後もこのようなセミナーを開催し、固化材の普及拡大に貢献していくとしている。

汎用固化材の仕様統一化に向けて調査・試験

セメント協会は、汎用固化材の仕様統一化に向けて、調査・試験を行っている。この取り組みは、固化材の品質を統一し、施工の効率化を図ることを目的としている。セメント協会は、全国の建設現場で、汎用固化材の使用状況を調査し、その性能や施工方法について、詳細な試験を行った。その結果、汎用固化材の仕様を統一することが可能であると判断された。セメント協会は、この結果に基づき、汎用固化材の仕様統一化の標準を策定する予定としている。

地盤改良特集

地盤改良は、建築物の基礎を安定させるための重要な技術である。セメント系固化材は、地盤改良に広く利用されている。この技術は、セメントと土質を混合して固めることで、土質の強度を高め、安定性を向上させることができる。セメント系固化材は、道路の補修や、土壌の改良などに広く利用されている。また、セメント系固化材は、リサイクル材を利用することで、環境負荷を低減することができる。セメント協会は、このような取り組みを通じて、持続可能な建設資材の提供を目指している。

セメント系固化材は、セメントと土質を混合して固めることで、土質の強度を高め、安定性を向上させることができる。この技術は、道路の補修や、土壌の改良などに広く利用されている。また、セメント系固化材は、リサイクル材を利用することで、環境負荷を低減することができる。セメント協会は、このような取り組みを通じて、持続可能な建設資材の提供を目指している。

ISBN4-88175-052-6 C3358 ¥952E

セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究

定価1,000円（本体952円）送料実費

2002年 3月29日 発行

社団法人 セメント協会

東京都中央区八丁堀4-5-4

秀和桜橋ビル7階

電話 03(3523)2701(代)

発行所 社団法人 セメント協会・研究所

東京都北区豊島4丁目17番33号

電話 03(3914)2693

印刷所 有限会社 プリントニューライフ

東京都千代田区三崎町2-12-5

電話 03(3263)0633

ISBN4-88175-052-6 C3358 ¥952E