



セメント系固化材について

－ セメント系固化材の概要と適用事例 －

一般社団法人 セメント協会

— 本日の内容 —

1. セメントおよびセメント系固化材について

- セメントの原料と製造工程
- セメント産業の廃棄物等の有効利用
- セメント系固化材の種類と特徴
- セメント系固化材による改良の原理
- セメント系固化材による改良土の特性

2. セメント系固化材による地盤改良工法

- 地盤改良工法の分類
- セメント系固化材による地盤改良工法の分類
- セメント系固化材の用途と適用

3. 地盤改良に関する試験

- 試験の位置付けと種類
- 室内配合試験
- 六価クロム溶出試験

4. 地盤改良適用事例, 書籍の紹介

- 事例調査報告書: 防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版

土を固める技術の変遷

1930 年代

▶ 米国において、ソイルセメント(道路の路盤材)が広く使用される。

1950 年代

▶ 日本でもソイルセメントが活用されるが、粘性土を固化する場合、混合の均一性を確保するのが困難であることが明らかに。

1970 年代

【建設業界の情勢】

- ① 良質な砂質材料が枯渇の傾向
- ② 多量の土の運搬が建設公害と批判
- ③ 周辺地域に対する騒音、振動、泥土の飛散などの社会問題
- ④ 環境保全を目的としたヘドロの固化、産業廃棄物の有害物の封じ込め

社会的な背景をうけ、セメントメーカー各社が土を固めるためのセメント『セメント系固化材』の製造・販売を開始。

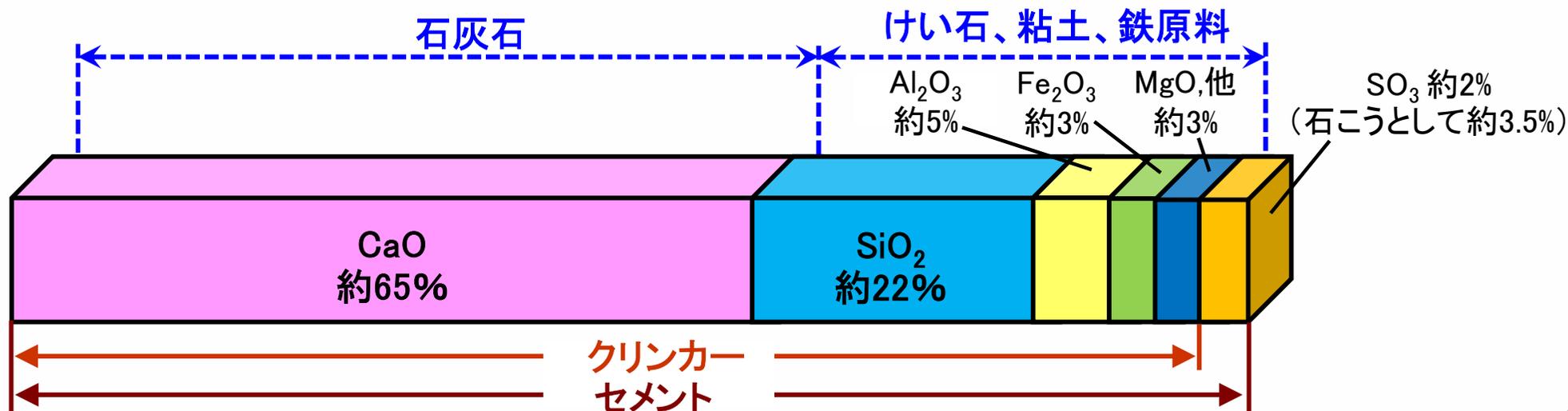
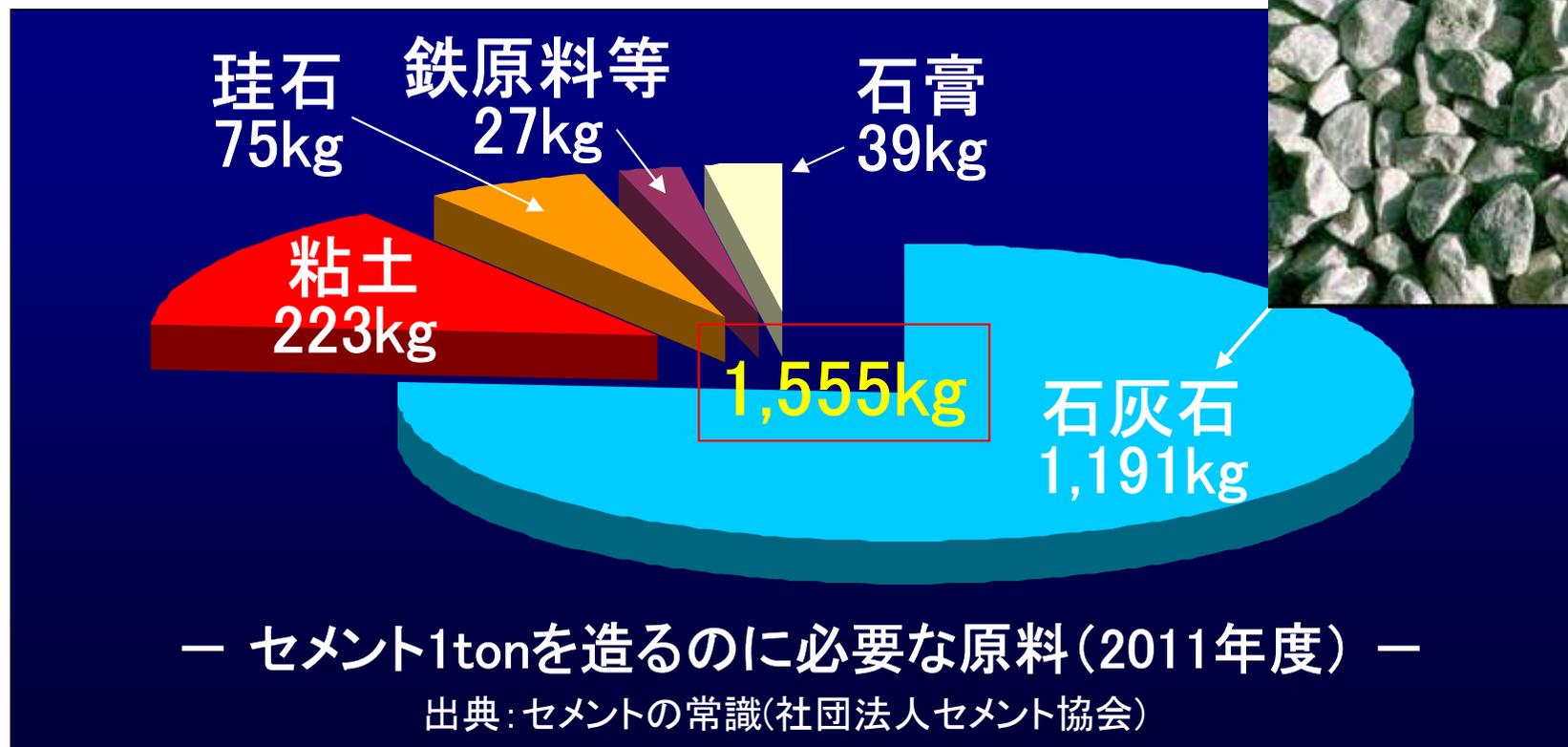
2000 年代

▶ 対象土質や固化材の配合条件により、改良土からの六価クロムの溶出量が土壤環境基準値(0.05mg/L)を超える場合があることから、六価クロム溶出を抑制する効果がある特殊土用固化材を開発。

★セメント系固化材とは・・・

JIS規格適合品のセメントを母材に特定成分や粒度の調整をした特殊セメント

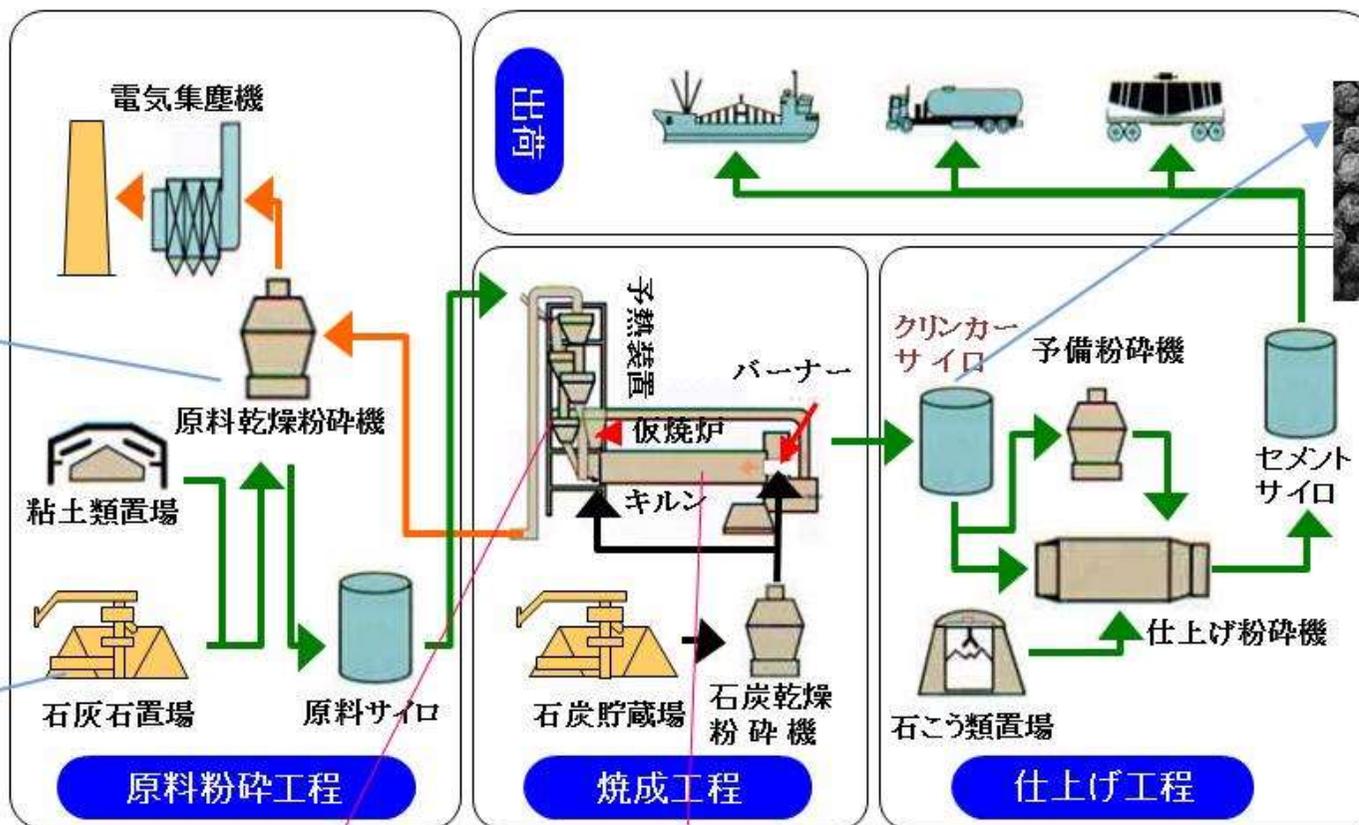
セメントの原料



セメントの製造工程



写真 1-3 たて型ミル



予熱装置



キルン



セメント工場の焼成装置



予熱装置(NSP方式)

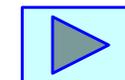
回転窯(ロータリーキルン)

回転窯(ロータリーキルン)

回転窯(ロータリーキルン)

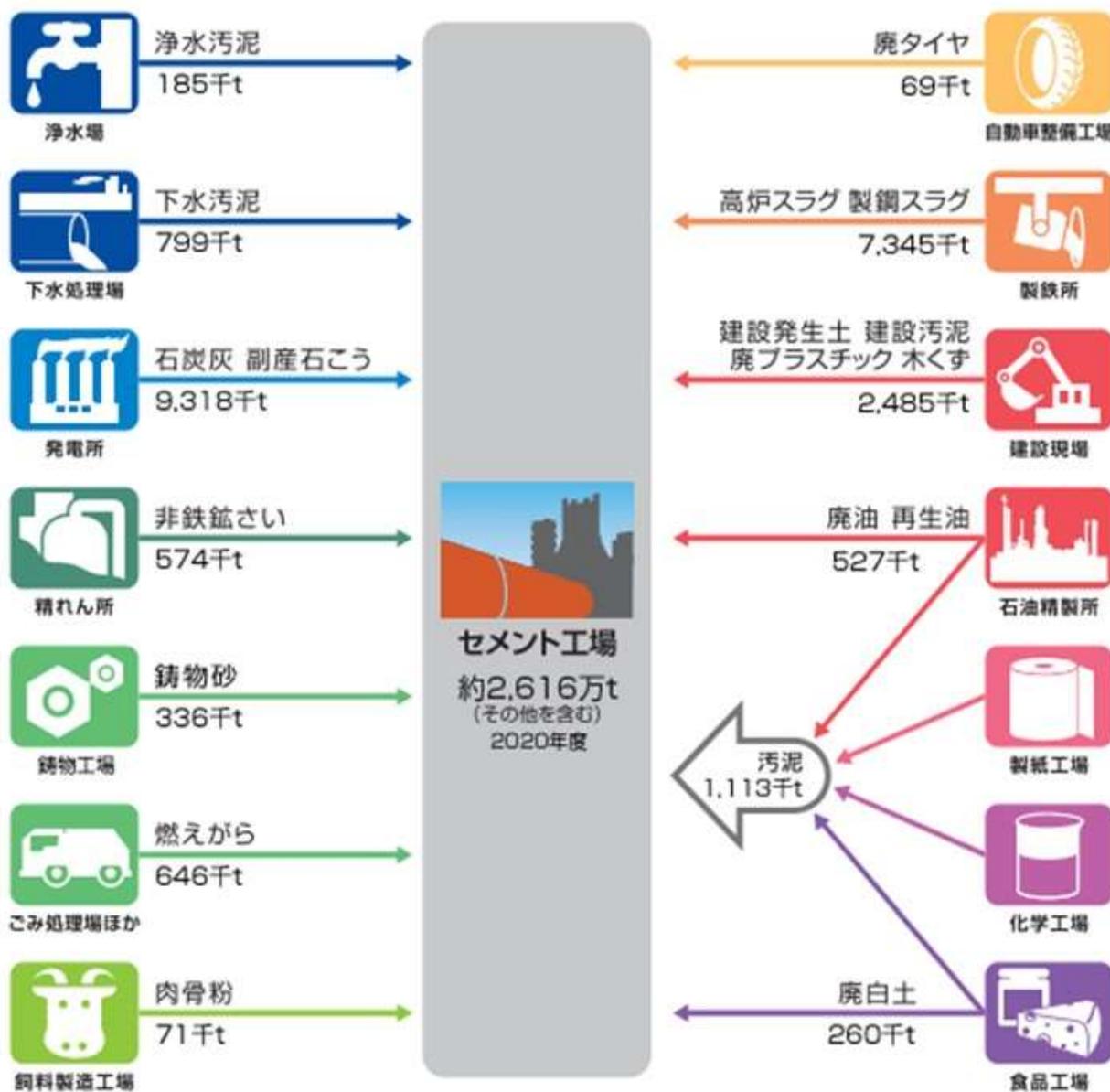
直径:4~6m 長さ:60~100m 傾斜:3~5% 回転数:2~3/分
平均的な焼き出し量(能力):132トン/時間

セメントの種類（JIS規格）

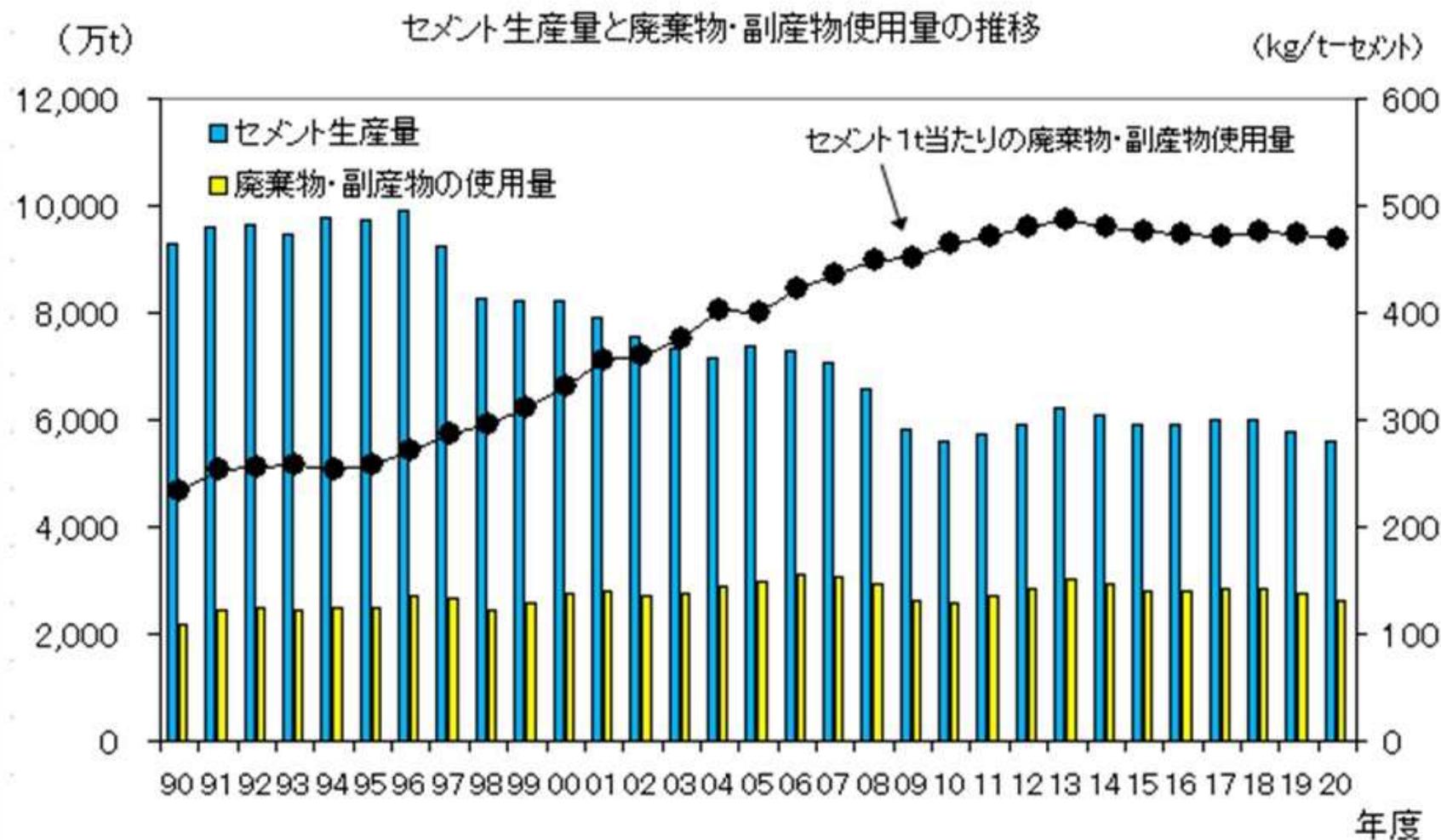
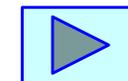


分類	種類	特徴
ポルトランドセメント (JIS R 5210)	普通ポルトランドセメント	汎用セメント
	早強ポルトランドセメント	初期強度発現が優れる
	超早強ポルトランドセメント	初期強度発現がさらに優れる
	中庸熱ポルトランドセメント	水和熱が低い
	低熱ポルトランドセメント	水和熱がさらに低い
	耐硫酸塩ポルトランドセメント	耐硫酸塩性が優れる
混合セメント	高炉セメント(JIS R 5211)	高炉スラグを混合
	シリカセメント(JIS R 5212)	シリカ質混合材を混合
	フライアッシュセメント(JIS R 5213)	フライアッシュを混合
エコセメント(JIS R 5214)		都市ゴミ焼却灰、下水汚泥を主原料として製造

セメント産業で有効利用している廃棄物等の種類



廃棄物等の使用量の推移



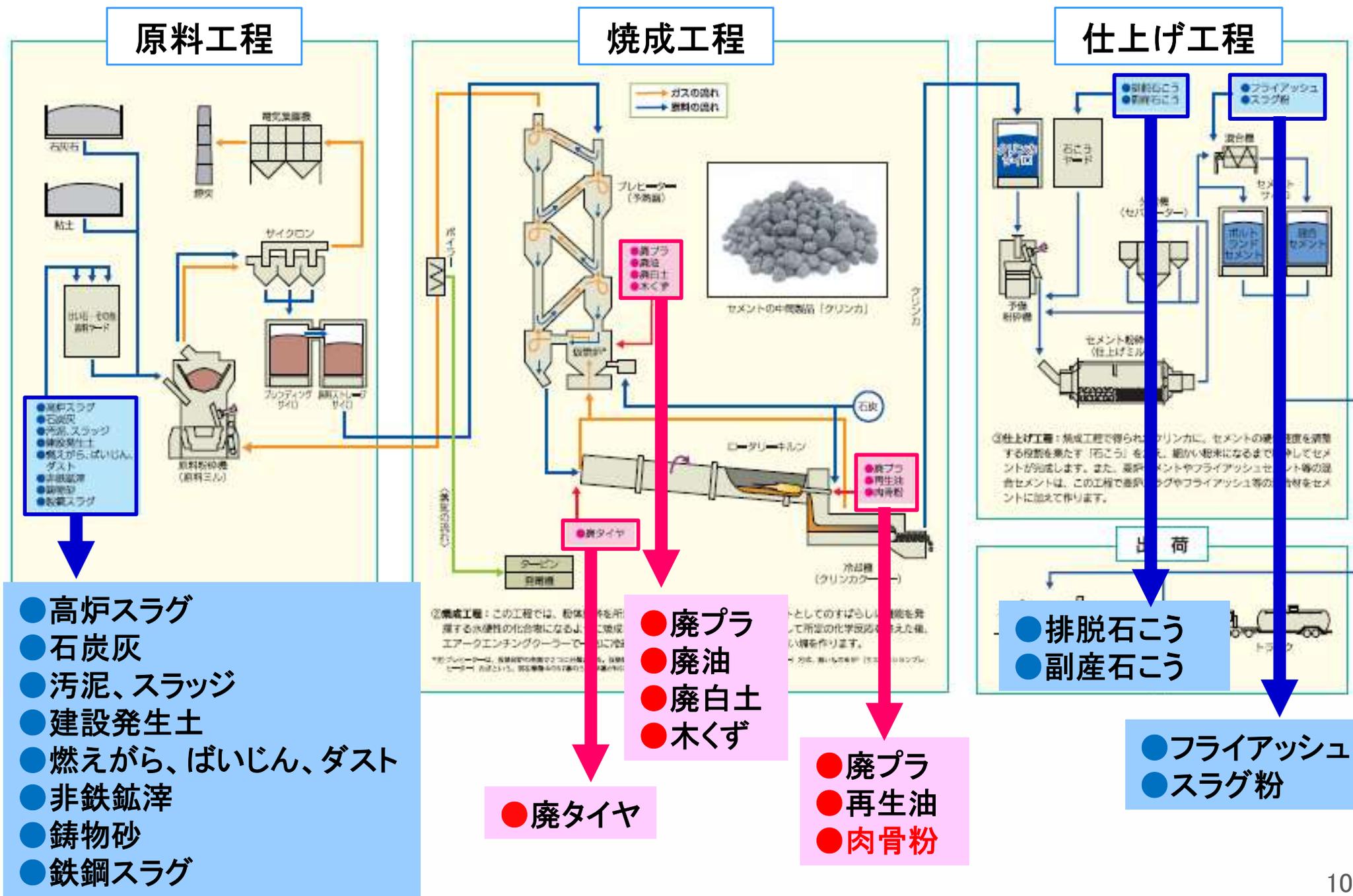
《 2020年度の実績 》

- ・セメント生産量 = 5,589万t
- ・廃棄物等の使用量 = 2,616万t

東京ドーム 約16杯分

セメント1t当たりの使用量 = 468 kg/t

各製造工程での廃棄物等の有効利用



廃棄物等を熱エネルギーとして利用したときの特徴

■ 例えば、廃タイヤを利用する場合



セメント製造に用いた場合

- ・ **可燃分は熱エネルギー**としてクリンカー製造に用いられる。
- ・ **スチール部はクリンカー原料**（鉄原料）として利用される。



焼却処分した場合

スチール部等が『残さ』として残る

セメント製造に廃棄物・副産物を利用した場合、二次的な廃棄物を発生させずに製品であるセメントを製造できる。

セメント産業における廃棄物等の有効利用

利用できる理由

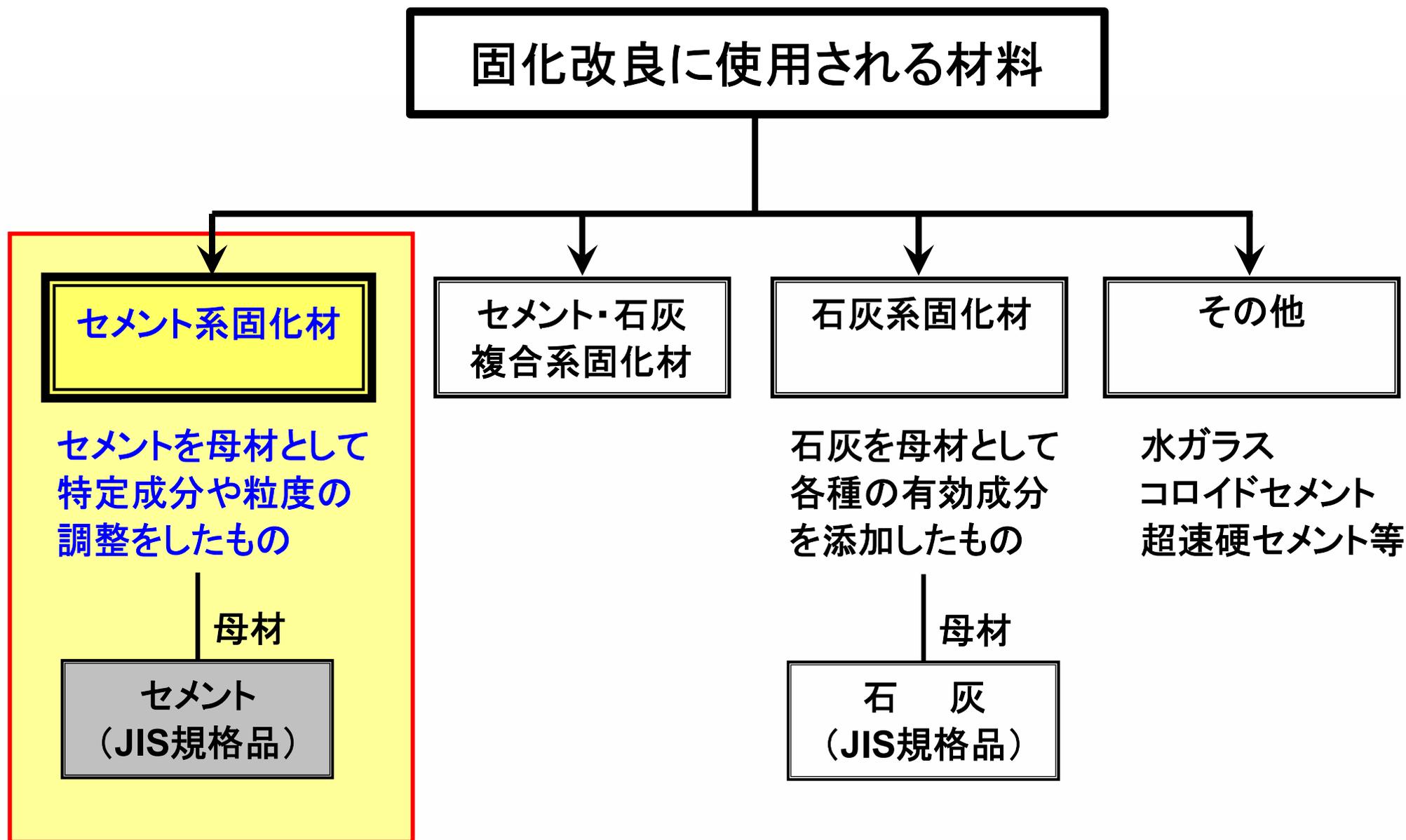
- セメントは大量生産されている。
- セメントの成分および廃棄物中の無機成分が酸化物であり**組成が一致**。
- 生成反応が二段階、**低発熱量のものでも熱量の一部として利用可能**。
⇒ 1000℃脱炭酸、1450℃焼成
- 有害有機物はキルン内で**完全に分解、無害化**される。

利用のメリット

- 最終処分場の延命
- 石灰石や化石起源エネルギー等の**天然資源の節約**
- 廃棄物を焼却・埋立処分する際の環境負荷や処分場の維持管理において発生する**環境負荷の低減に寄与**
- ゴミ発電等で回収される熱エネルギー：20%程度
⇒ **セメントキルンでの熱回収効率：70%以上**

✓ 循環型社会の構築
✓ 社会全体での
省エネに貢献

セメント系固化材の位置付け



主なセメント系固化材の種類と特徴

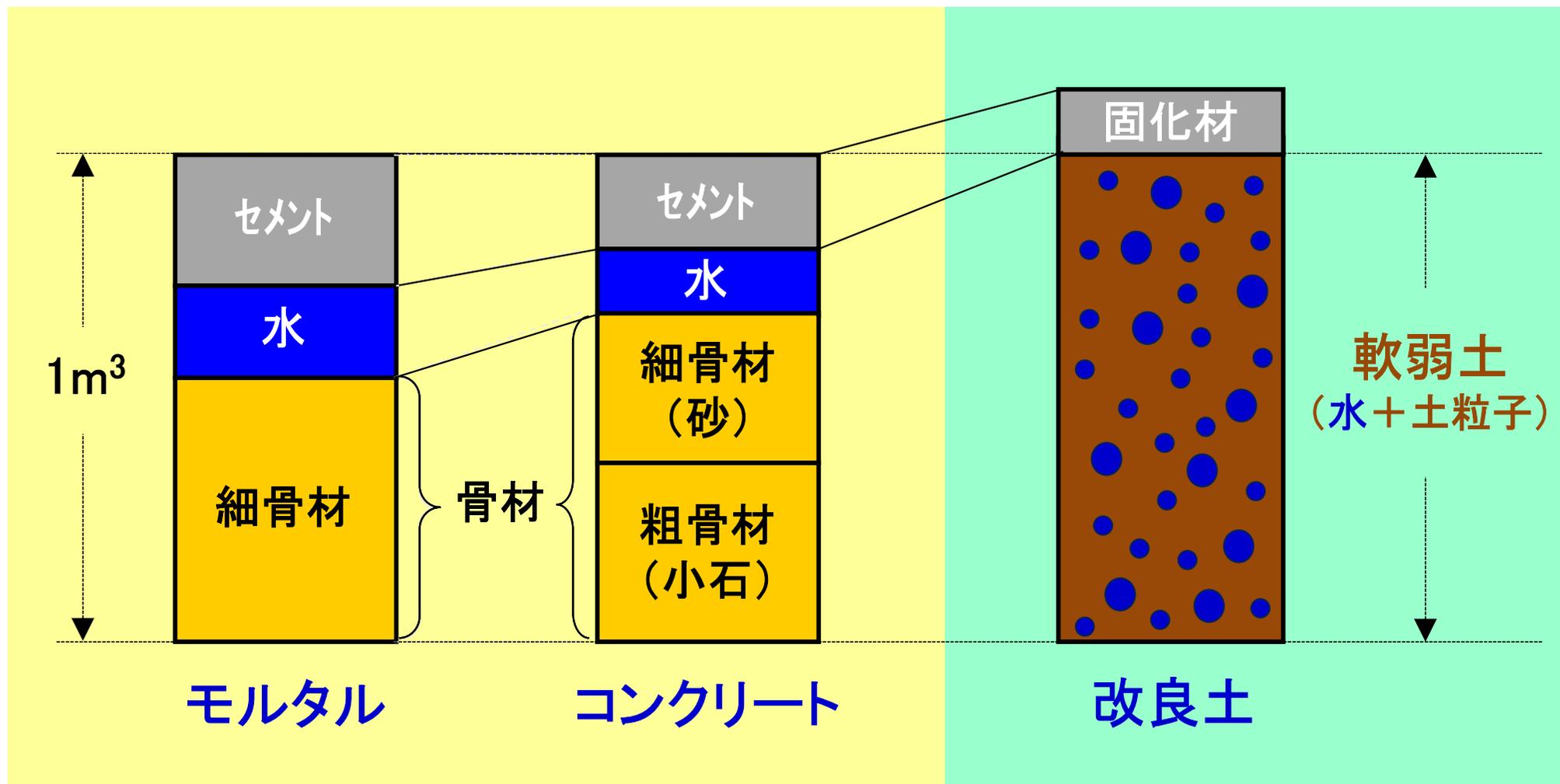
種類		特徴
汎用固化材	特殊土用	軟弱地盤(砂質土・シルト・粘土・火山灰質土)に幅広く使用できるほか、改良土からの六価クロム溶出を抑制する効果がある固化材
	一般軟弱土用	軟弱地盤に幅広く使用できる固化材
高有機質土用固化材		腐植土・有機質土・泥土等有機物含有量の多い土に効果がある固化材
発塵抑制型固化材		粉体で使用した場合に発塵の少ない固化材

上記以外に泥炭用、超軟弱地盤用など各種用途に応じた固化材が開発されている

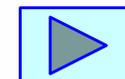
セメントの使われ方 と 固化材の使われ方

— セメントの場合 —

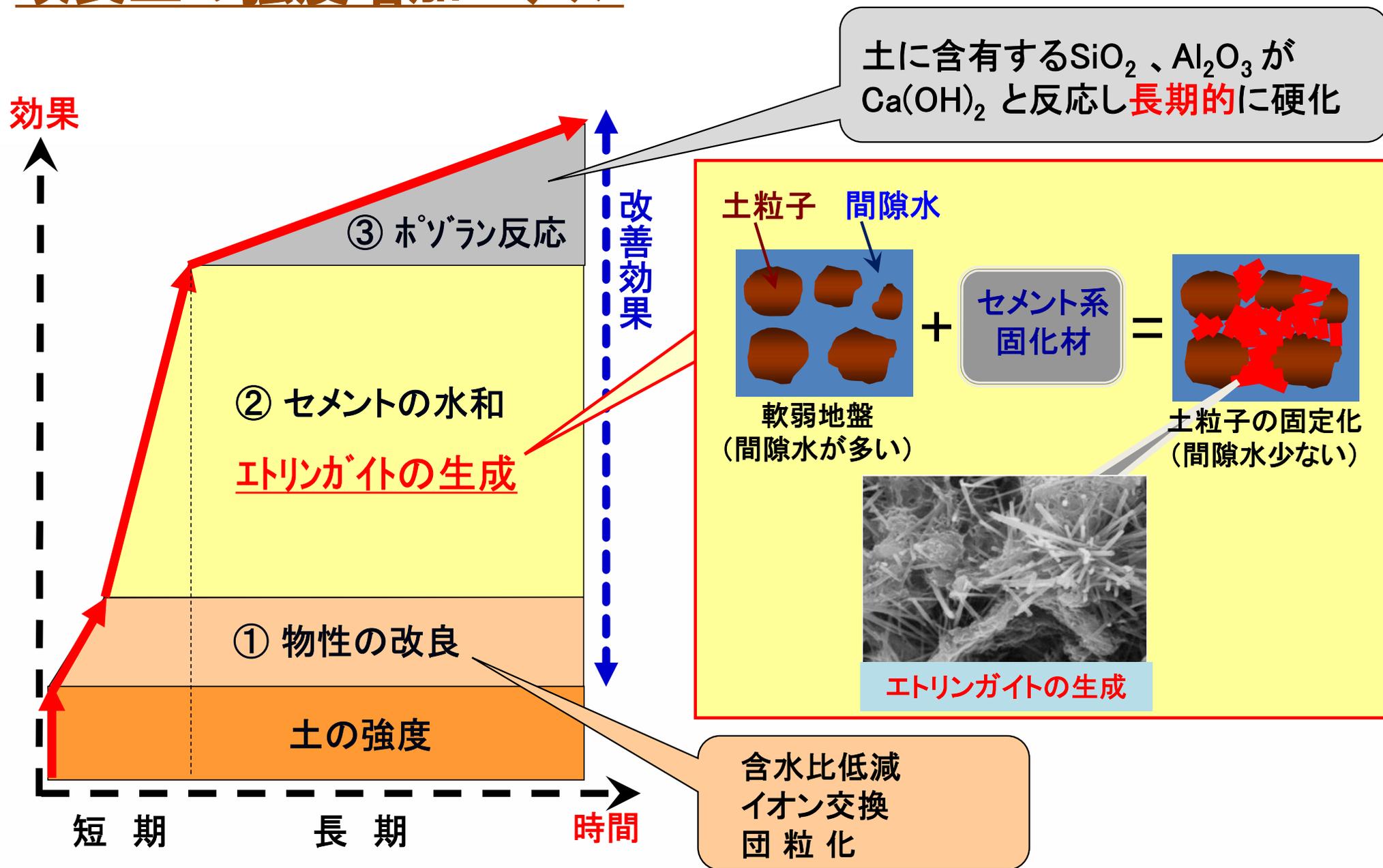
— 固化材の場合 —



注) 割合は質量比で、おおよその目安

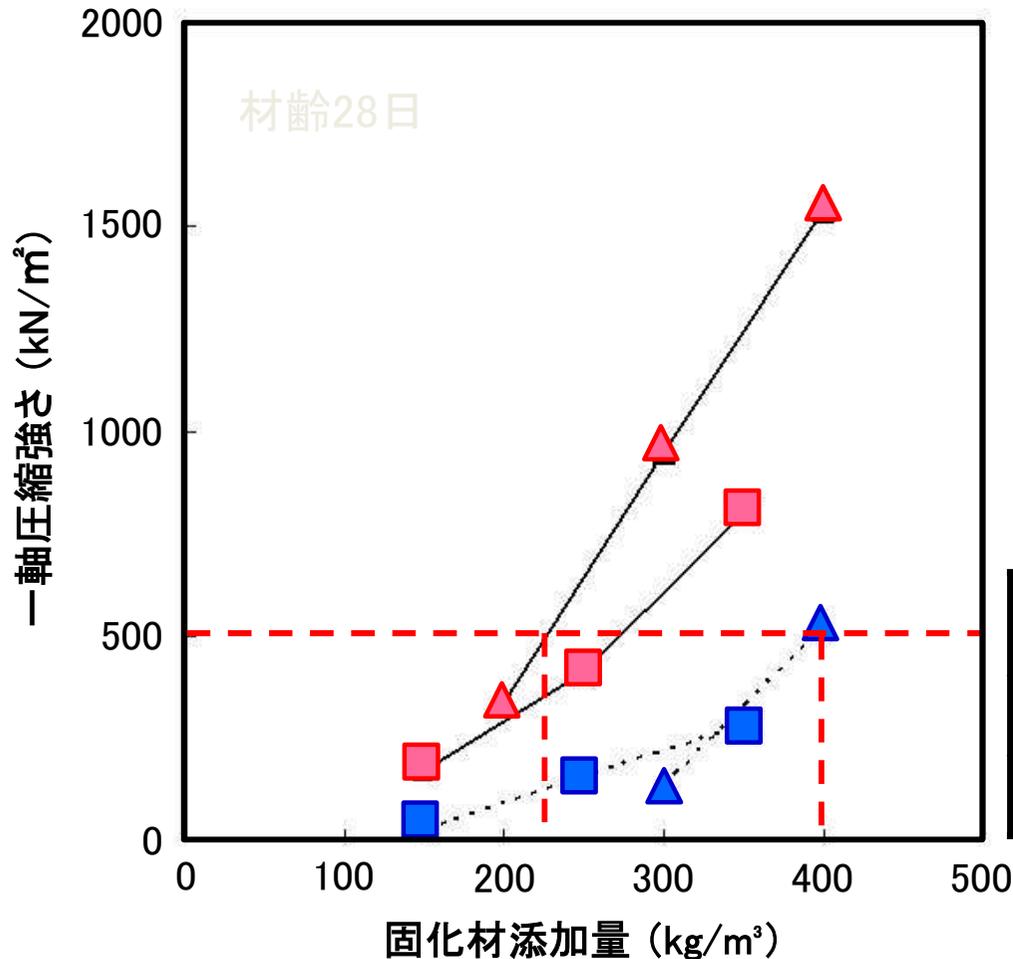


改良土の強度増加モデル



改良効果に及ぼす影響

➤ 「セメント系固化材」と「セメント」の改良効果の違い



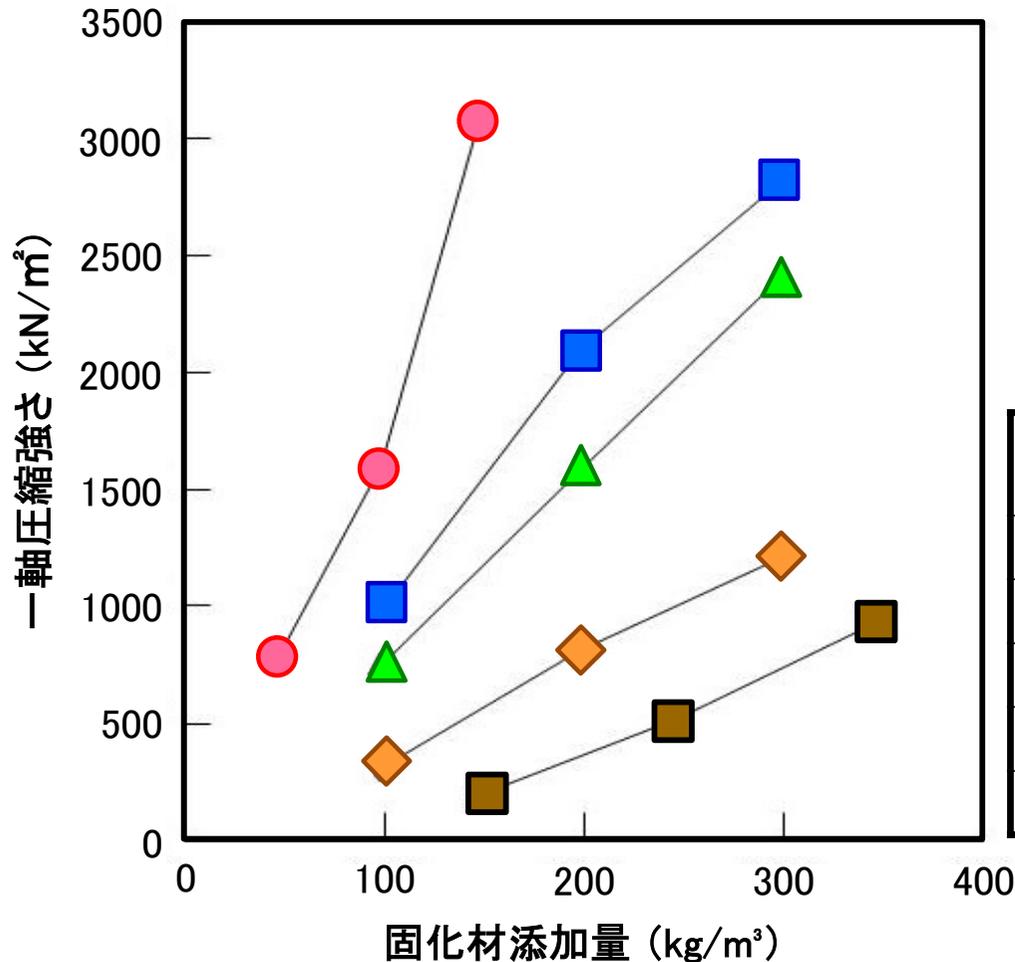
- 試験材齢：28日
- 添加方法：紛体添加

汎用 固化材	高炉 セメントB種	土質(産地)	w _n (%)	ρ _t (g/cm ³)
▲	▲	火山灰質粘性土(埼玉県)	125.6	1.360
■	■	泥炭(北海道)	628.9	1.018

- 固化材添加量と一軸圧縮強さの関係例 -

改良効果に及ぼす影響

土質の影響



■ 試験材齢：28日

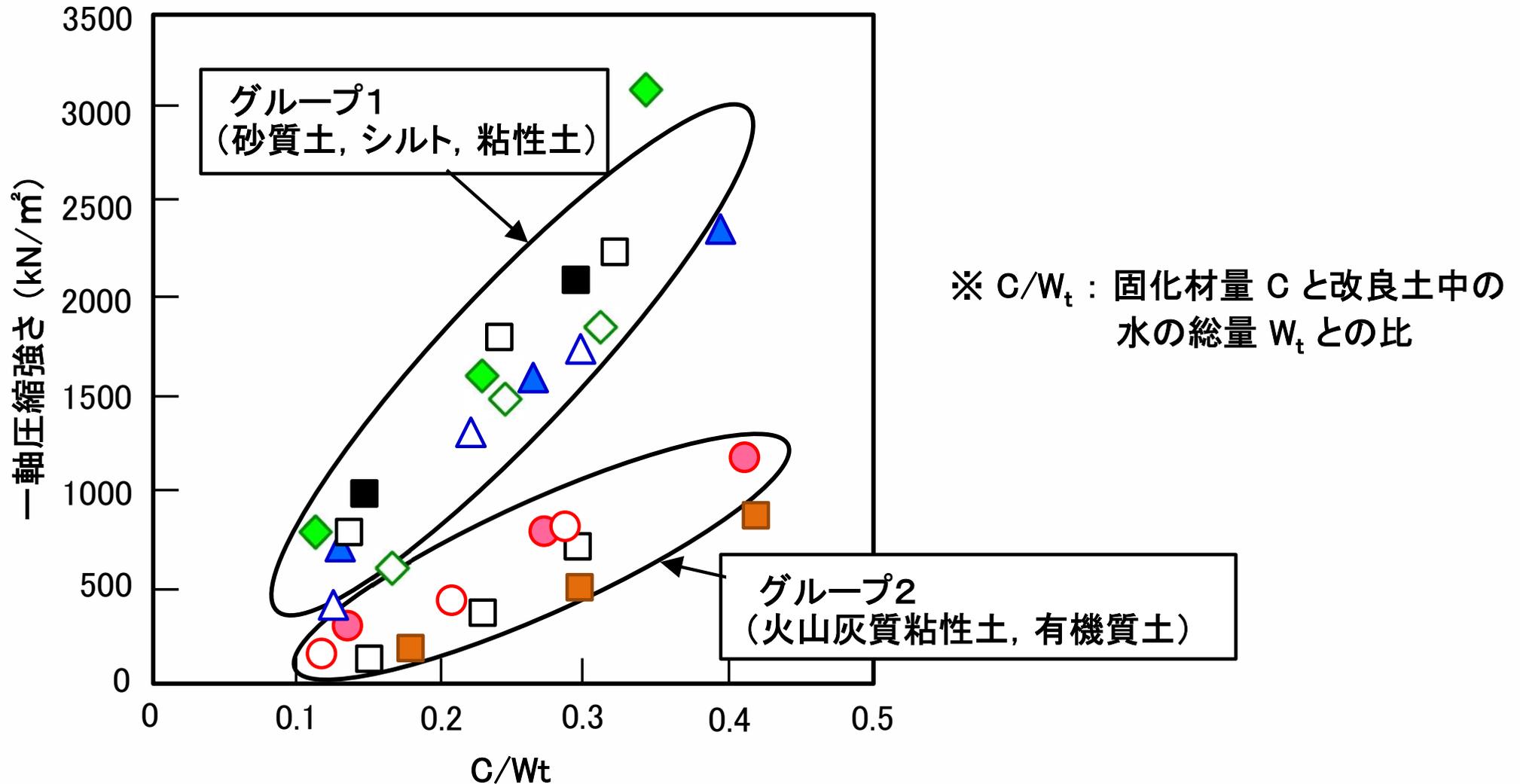
■ 添加方法：紛体添加

凡例	土質(産地)	w _n (%)	ρ _t (g/cm ³)
●	砂質土 (SM) (千葉県)	32.8	1.776
■	シルト (MH) (静岡県)	68.5	1.663
▲	粘性土 (CH) (神奈川県)	89.2	1.611
◆	火山灰質粘性土 (VH2) (埼玉県)	94.7	1.487
■	有機質土 (OH) (埼玉県)	230.7	1.194

- 固化材添加量と一軸圧縮強さの関係例 -

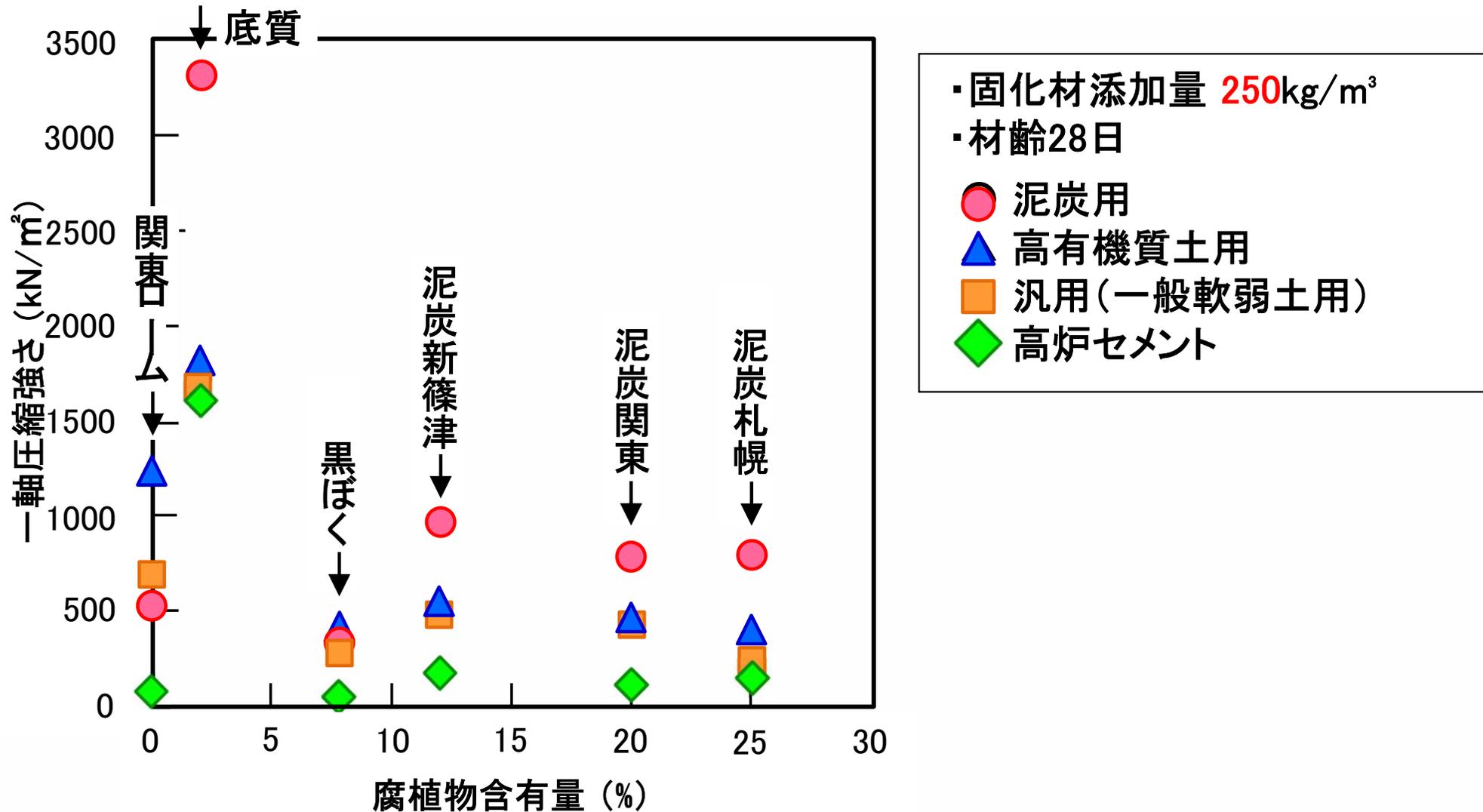
改良効果に及ぼす影響

土の水分量の影響



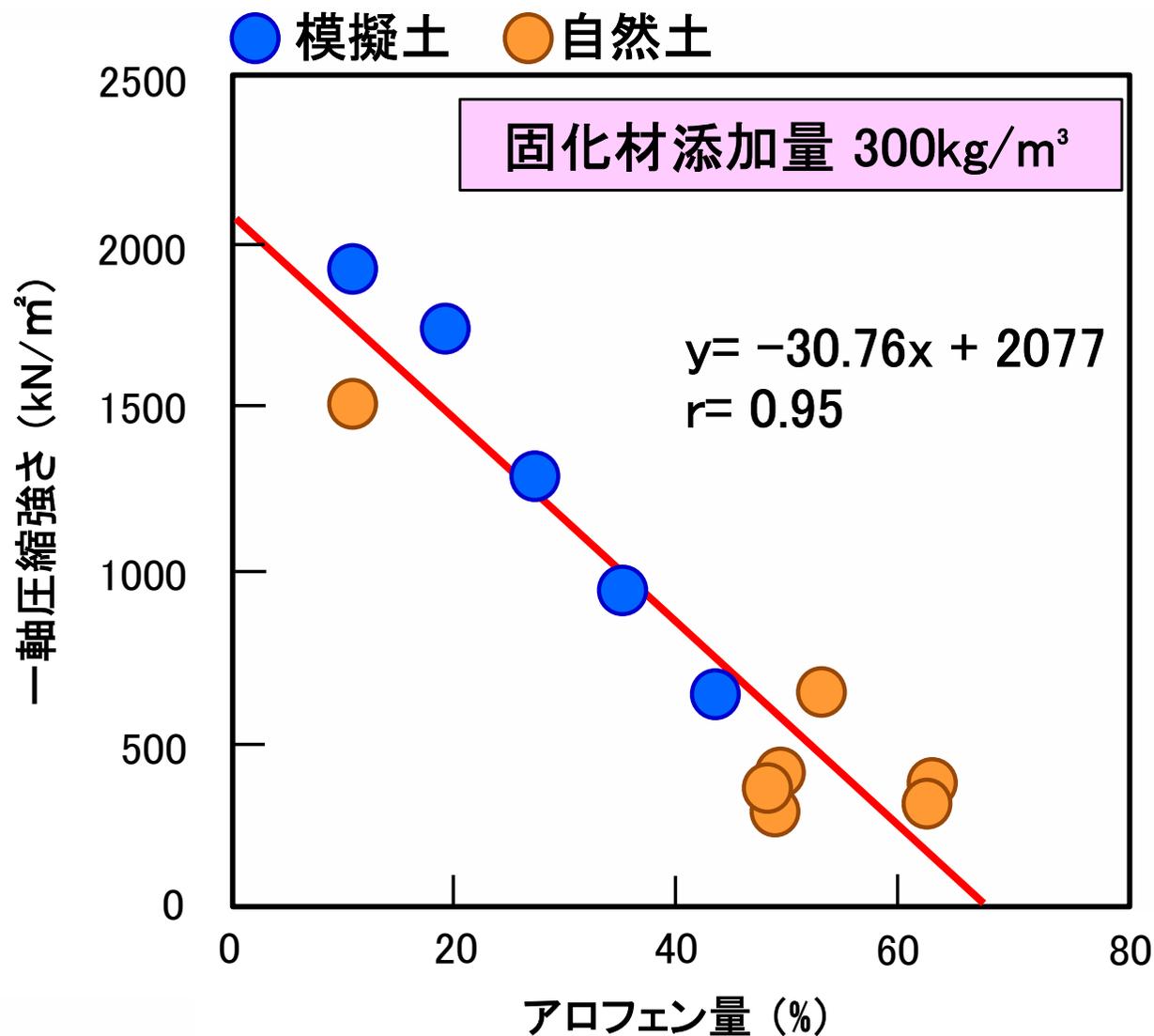
改良効果に及ぼす影響

➤ 有機物の影響(腐植物含有量)



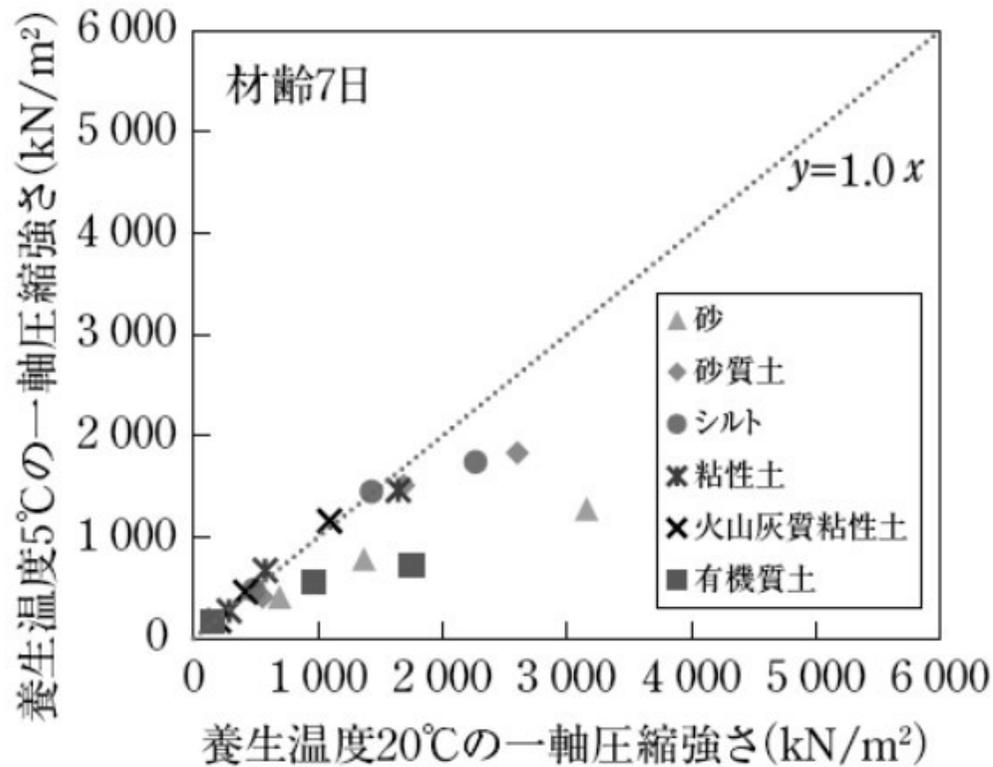
改良効果に及ぼす影響

➤ 粘土鉱物の影響（アロフェン量）

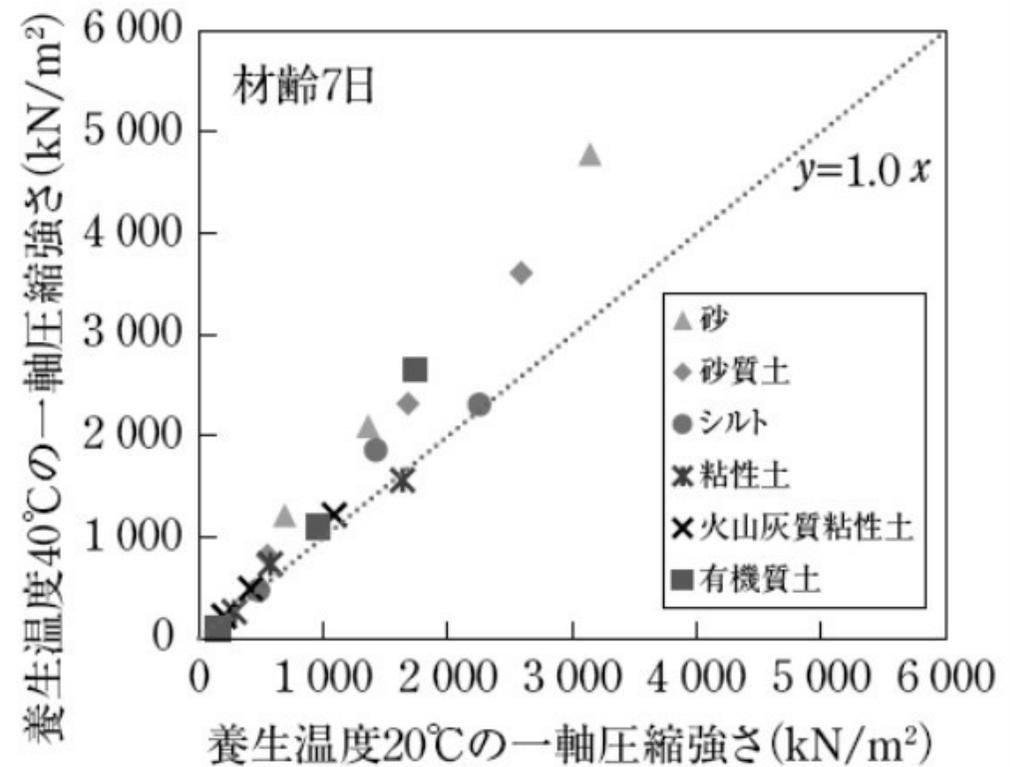


改良土の強度特性

温度による影響



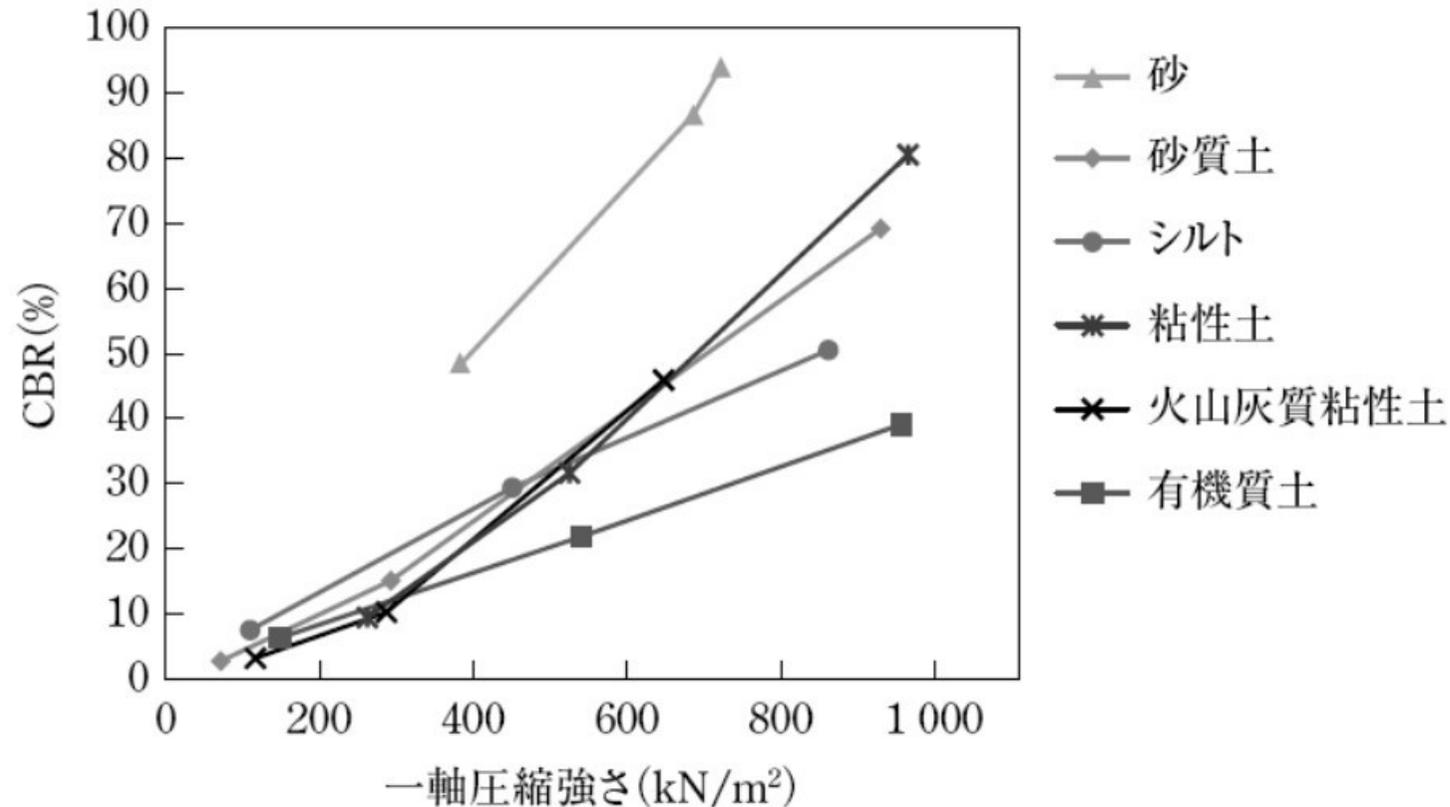
- 養生温度20°Cと5°Cの関係 -



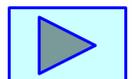
- 養生温度20°Cと40°Cの関係 -

改良土の強度特性

▶ 「一軸圧縮強さ」と「CBR」との関係

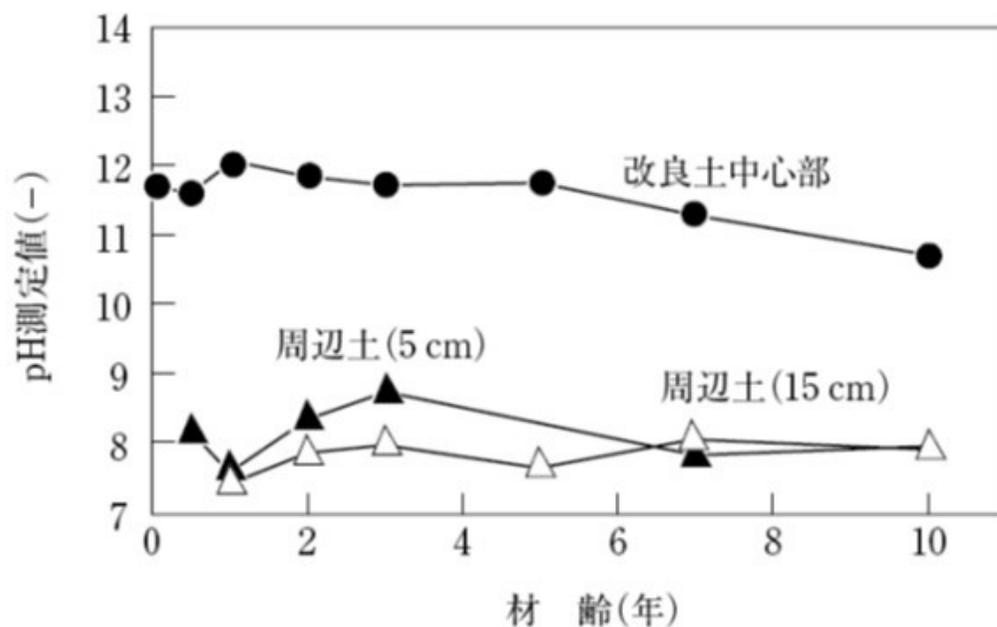


- 一軸圧縮強さと CBR の関係 -

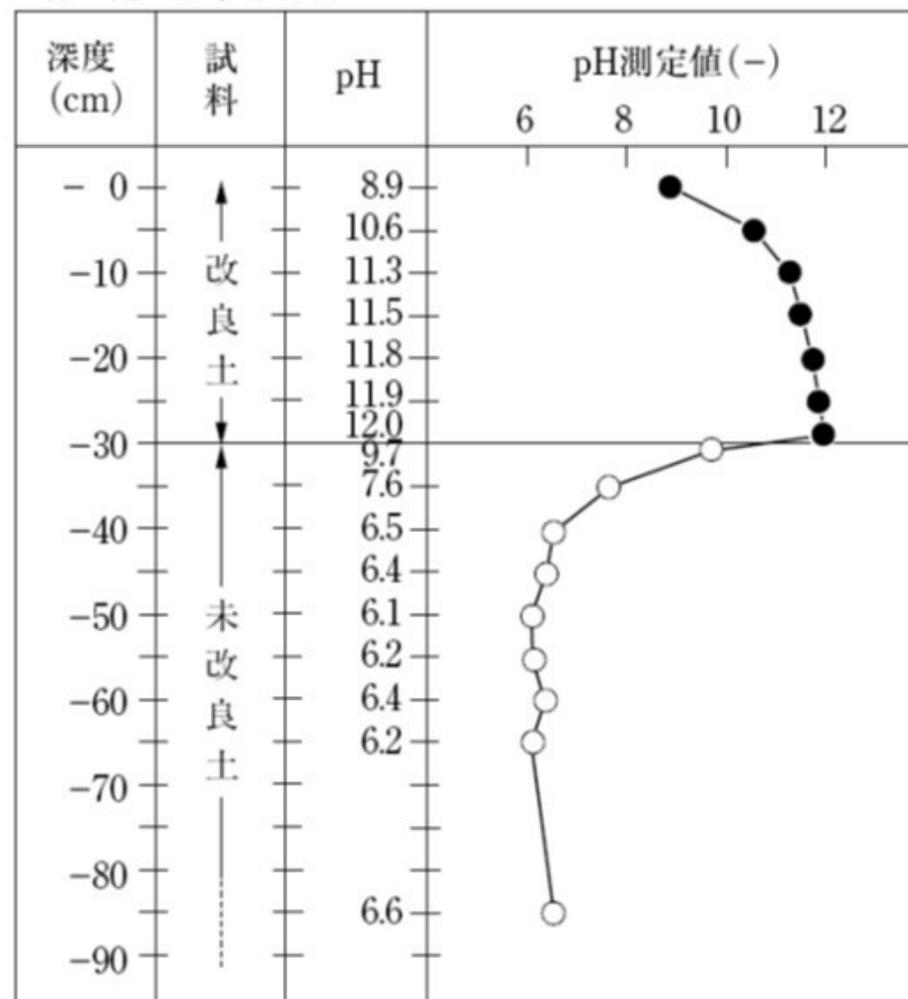


改良土のアルカリ特性

▶ 改良土から周辺土壌へのアルカリ拡散



試 料：駐車場改良試験工事追跡調査(東京都)
材 齢：2年9か月



— 本日の内容 —

1. セメントおよびセメント系固化材について

- セメントの原料と製造工程
- セメント産業の廃棄物等の有効利用
- セメント系固化材の種類と特徴
- セメント系固化材による改良の原理
- セメント系固化材による改良土の特性

2. セメント系固化材による地盤改良工法

- 地盤改良工法の分類
- セメント系固化材による地盤改良工法の分類
- セメント系固化材の用途と適用

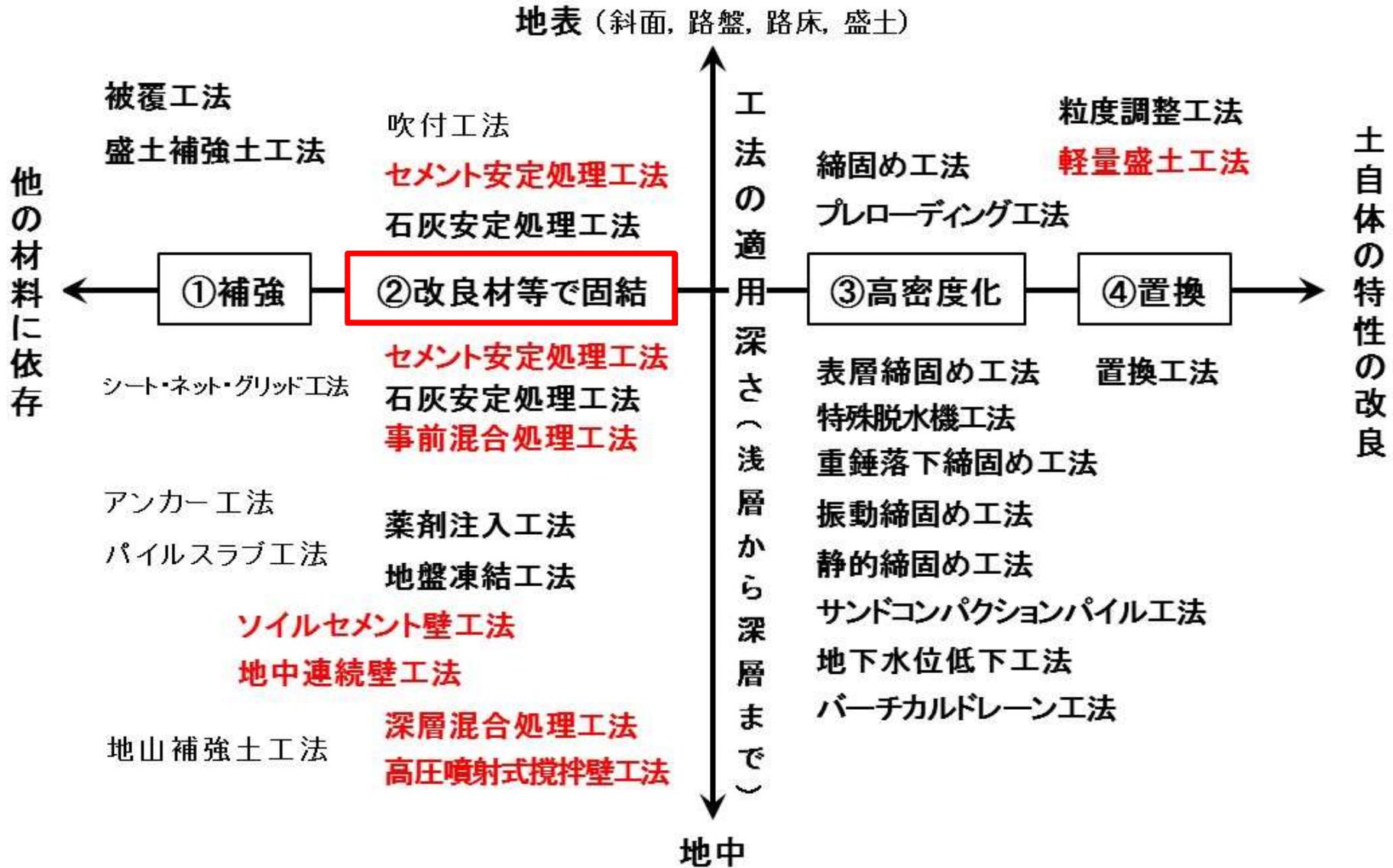
3. 地盤改良に関する試験

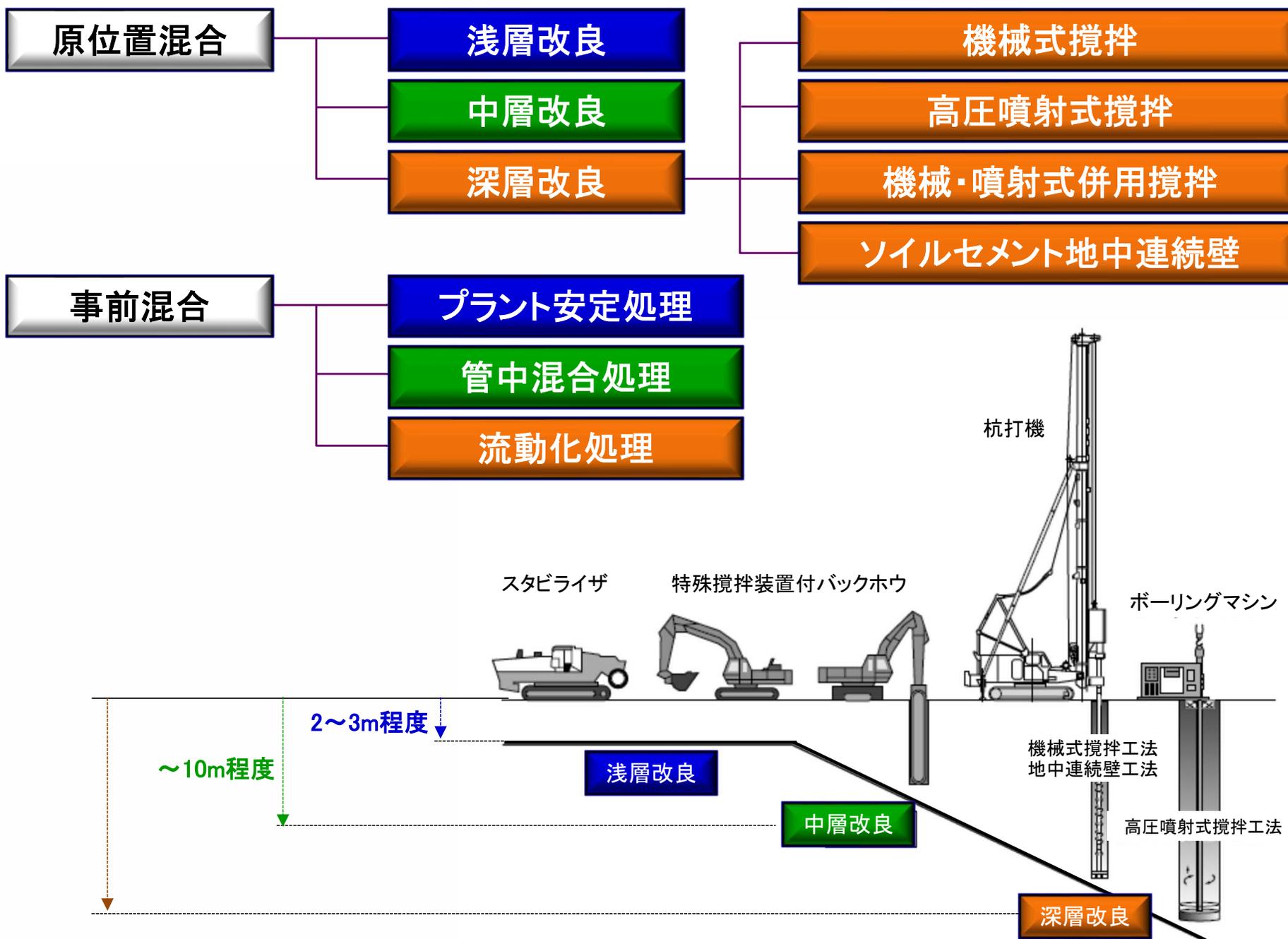
- 試験の位置付けと種類
- 室内配合試験
- 六価クロム溶出試験

4. 地盤改良適用事例, 書籍の紹介

- 事例調査報告書: 防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版

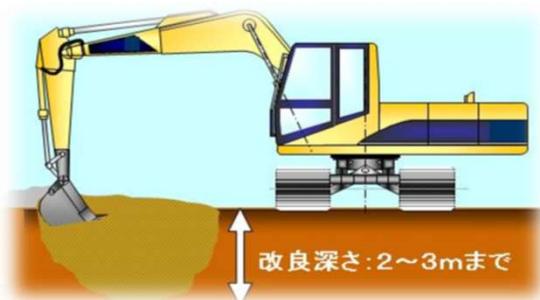
軟弱地盤の性状を改良するための手段





原位置混合：浅層改良 《攪拌方式の例》

■ バックホウ



原位置混合：中層改良 《攪拌方式の例》



出典：セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第5版)
防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良

原位置混合：深層改良 《機械式攪拌の例》



2~3m程度以上



— 柱状改良体の天端状況(一例) —

出典：セメント系固化材の拡がる用途と役割
土を固めるセメント系固化材(セメント協会パンフレット)

原位置混合：深層改良 《高圧噴射式攪拌の例》



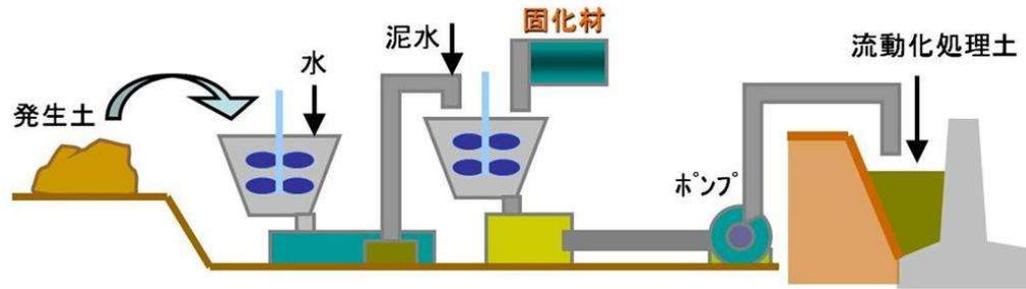
出典：大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割
防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良

事前混合：プラント安定処理 《自走式土質改良機の例》

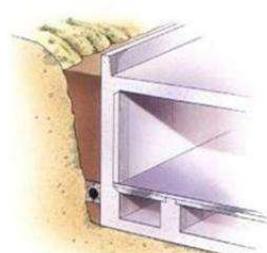


出典：土を固めるセメント系固化材（セメント協会パンフレット，大福工業提供）

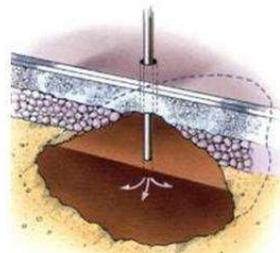
事前混合：流動化処理



共同溝の埋戻し



カルバートの埋戻し



路面下空洞の埋戻し

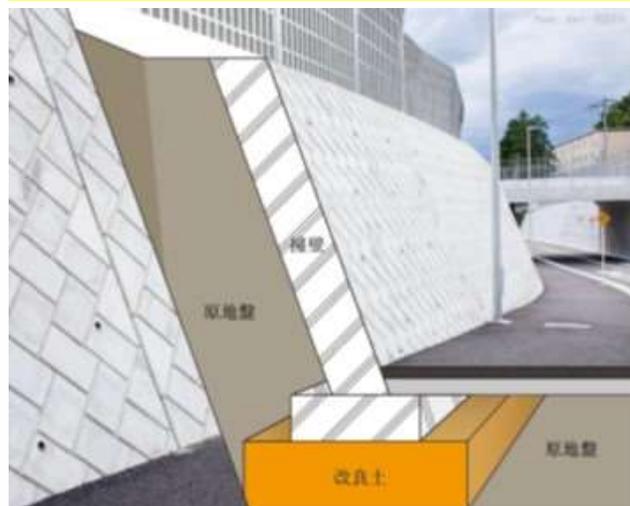


出典：流動化処理工法(LSS工法)パンフレット, 流動化処理工法研究機構
— 建設発生土・泥土をリサイクルできる環境にやさしい工法 —



出典：土を固めるセメント系固化材(セメント協会パンフレット, 丸新企業提供)

— 土木構造物の支持 —



— 擁壁基礎地盤の改良 —



— ボックスカルバート基礎地盤の改良 —



— 管きよ基礎地盤の改良 —

— 建築物の支持 —



— 戸建住宅の浅層改良 —



— 中規模建築物の深層改良 —



— 格子式地盤改良の液状化対策 —

— 路床・路盤の安定 —



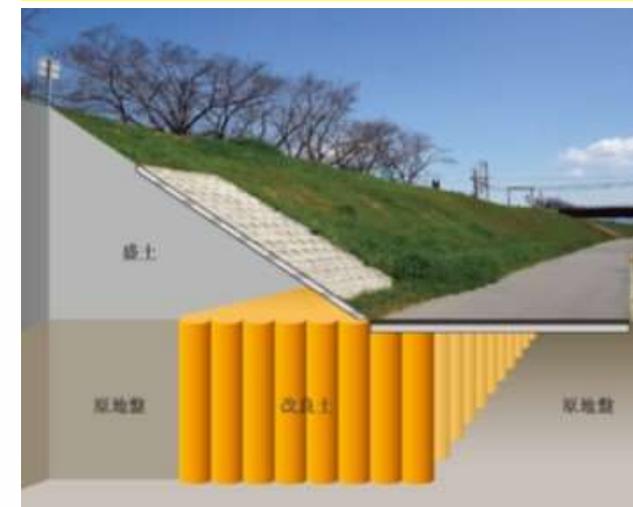
— 路床・路盤の改良 —

— 仮設地盤の築造 —



— 重機足場の改良 —

— 盛土の安定のための改良 —



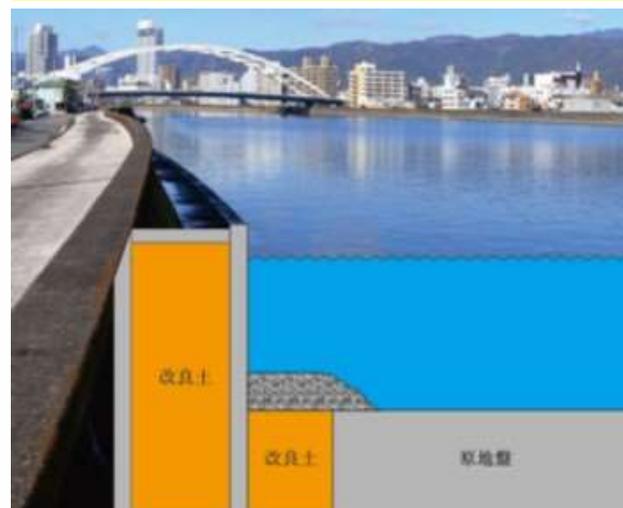
— 盛土のすべり防止 —

— 掘削時の安定 —



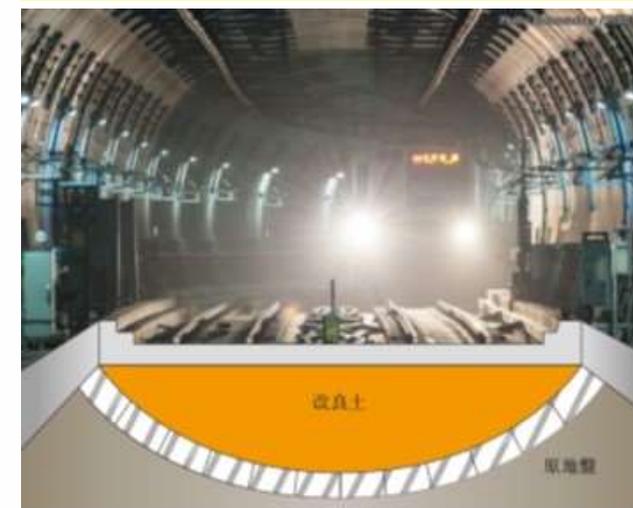
— 掘削底盤の強化 —

— 護岸の強化 —



— 河川護岸の強化 —

— 発生土の再利用 —



— 地下鉄インバート材(流動化処理土) —

— 本日の内容 —

1. セメントおよびセメント系固化材について

- セメントの原料と製造工程
- セメント産業の廃棄物等の有効利用
- セメント系固化材の種類と特徴
- セメント系固化材による改良の原理
- セメント系固化材による改良土の特性

2. セメント系固化材による地盤改良工法

- 地盤改良工法の分類
- セメント系固化材による地盤改良工法の分類
- セメント系固化材の用途と適用

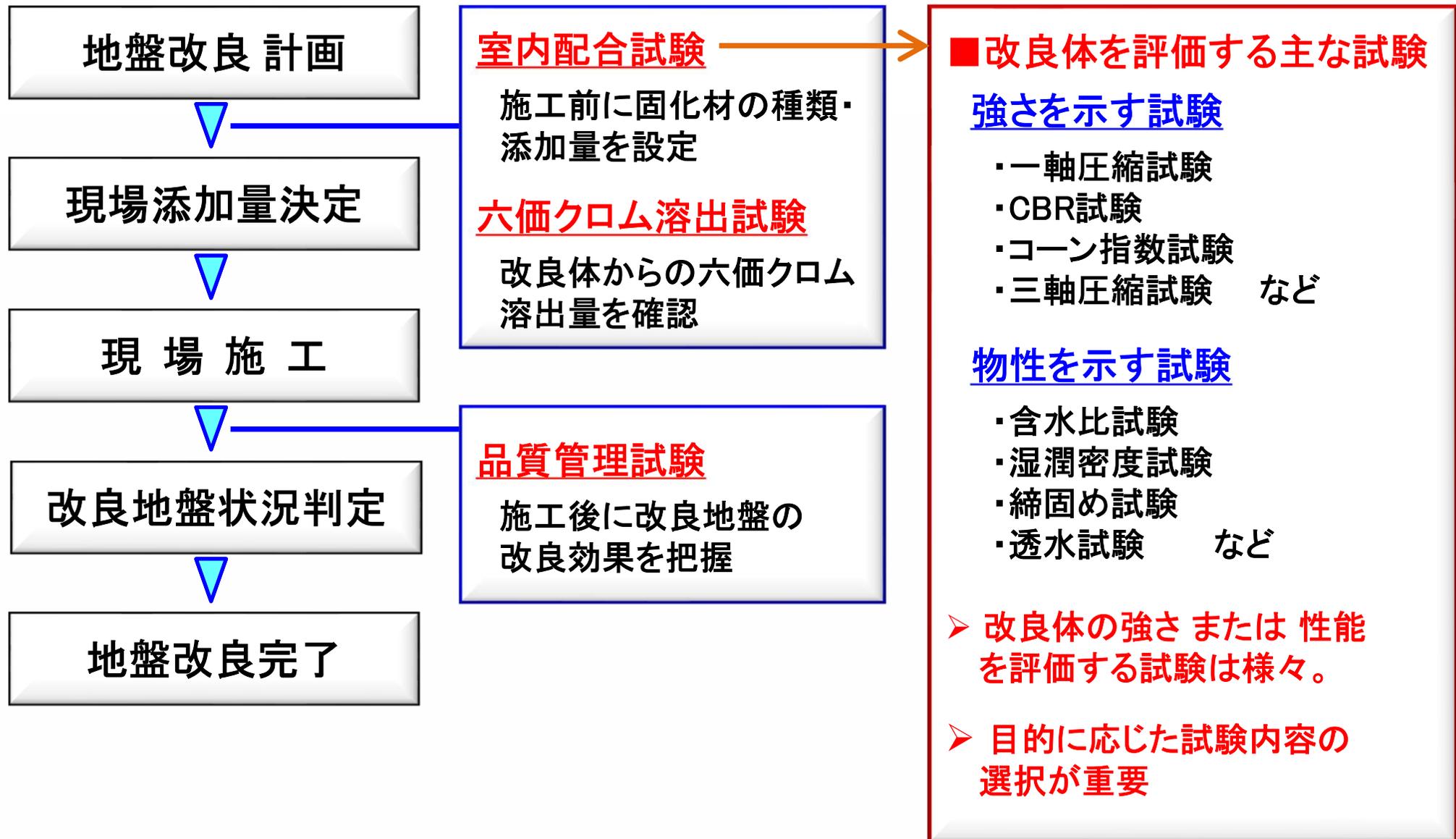
3. 地盤改良に関する試験

- 試験の位置付けと種類
- 室内配合試験
- 六価クロム溶出試験

4. 地盤改良適用事例, 書籍の紹介

- 事例調査報告書: 防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版

試験の位置付け

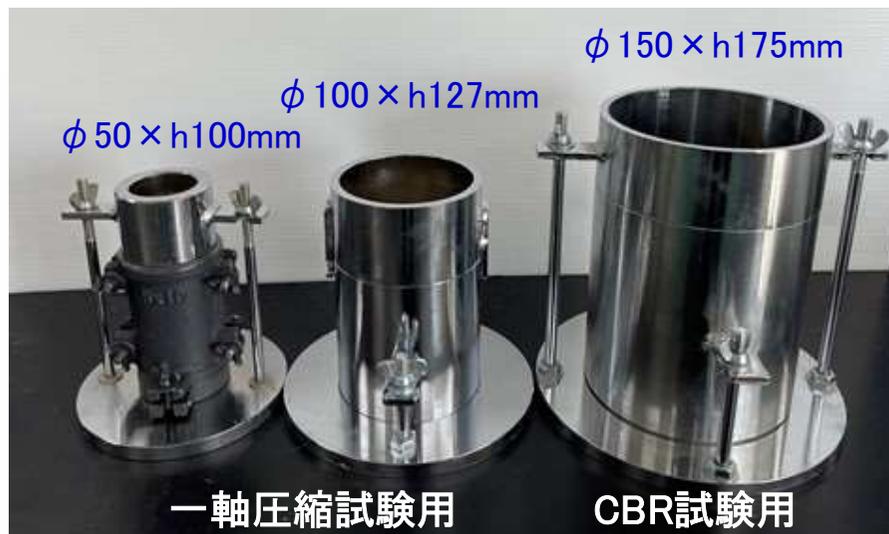


代表的な地盤改良の用途と力学試験方法の例

用途	力学試験	供試体作製方法	供試体寸法 (mm)
構造物 建築基礎 液状化対策 仮設道路	土の一軸圧縮試験 (JIS A 1216)	セメント系固化材による改良体の強さ試験方法 (セメント協会標準試験方法 JCAS L-01)	$\phi 50 \times h100$
		安定処理土の締固めをしない供試体作製方法 (地盤工学会基準 JGS 0821)	$\phi 50 \times h100$
路盤改良	土の一軸圧縮試験 (JIS A 1216)	安定処理混合物の一軸圧縮試験方法 (舗装調査・試験法便覧: 日本道路協会)	$\phi 100 \times h127$
路床改良	CBR試験 (JIS A 1211)	安定処理土のCBR試験方法 (舗装調査・試験法便覧: 日本道路協会)	$\phi 150 \times h125$
発生土改良	締固めた土の コーン指数試験 (JIS A 1228)	安定処理土の突固めによる供試体作製方法 (地盤工学会基準 JGS 0811)	$\phi 100 \times h127$

代表的な力学試験方法の例

《供試体(型枠)サイズと作製状況》



— JCAS L-01 —
(φ 50 × h100mm)

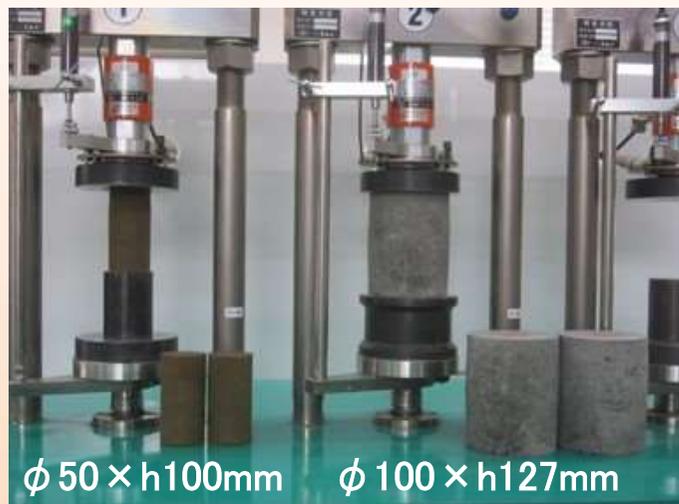
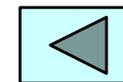


— 舗装調査・試験法 —
(φ 100 × h127mm)



— 舗装調査・試験法 —
(φ 150 × h175mm)

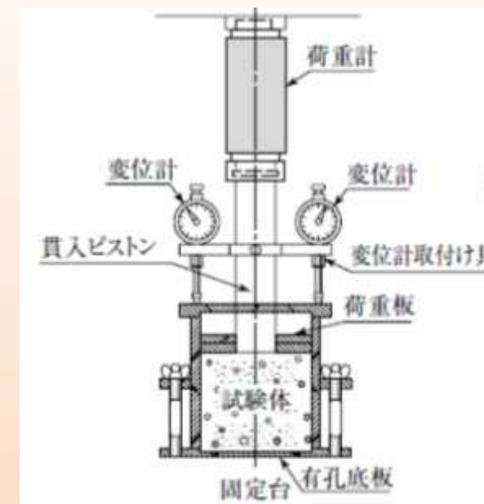
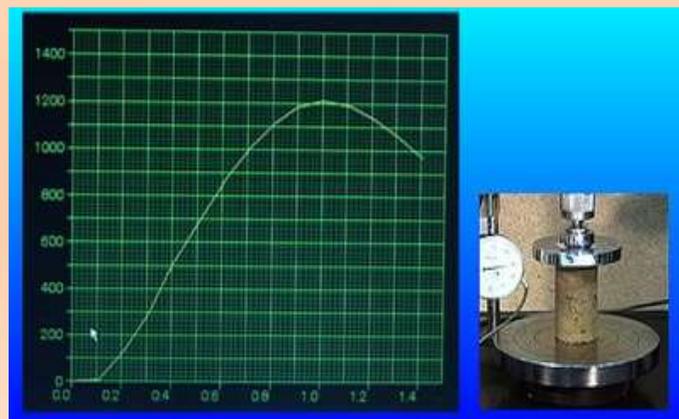
代表的な力学試験方法の例



φ50×h100mm φ100×h127mm

一軸圧縮試験状況 (JIS A 1216)

- 供試体を上下方向から圧縮し、最大圧縮応力である一軸圧縮強さを求める。



CBR試験状況 (JIS A 1211)

CBR・・・ California Bearing Ratio ⇒ 路床支持力比

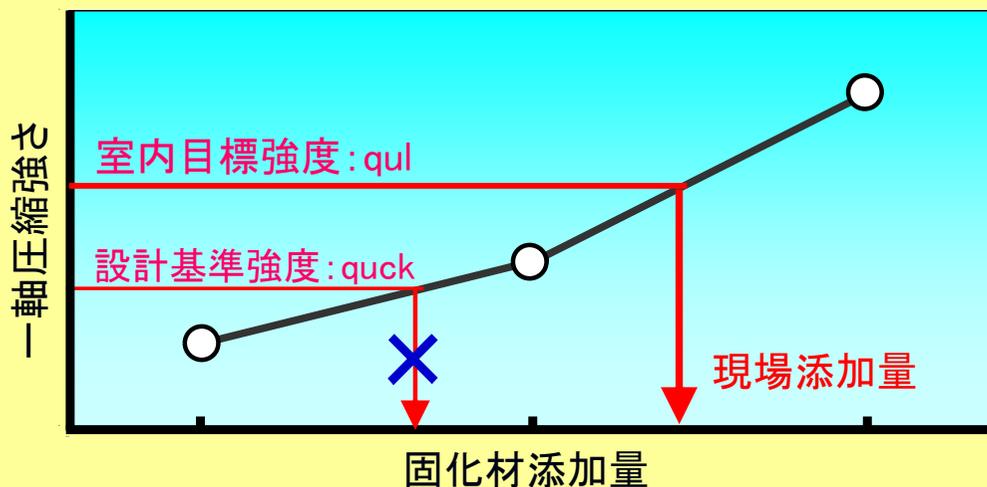
- ・路床や路盤の支持力の大きさを表す指標。
- ・直径5cmの貫入ピストンを改良体に貫入させたときの荷重強さを標準荷重に対する百分率で表したものの。

$$CBR = \frac{\text{荷重強さ}}{\text{標準荷重強さ}} \times 100$$

※標準荷重強さ: 代表的なクラッシャーランでの値

現場添加量(施工添加量)の決定方法の一例

《一般的な一軸圧縮試験の場合》



現場添加量

= 室内目標強度を満足する添加量

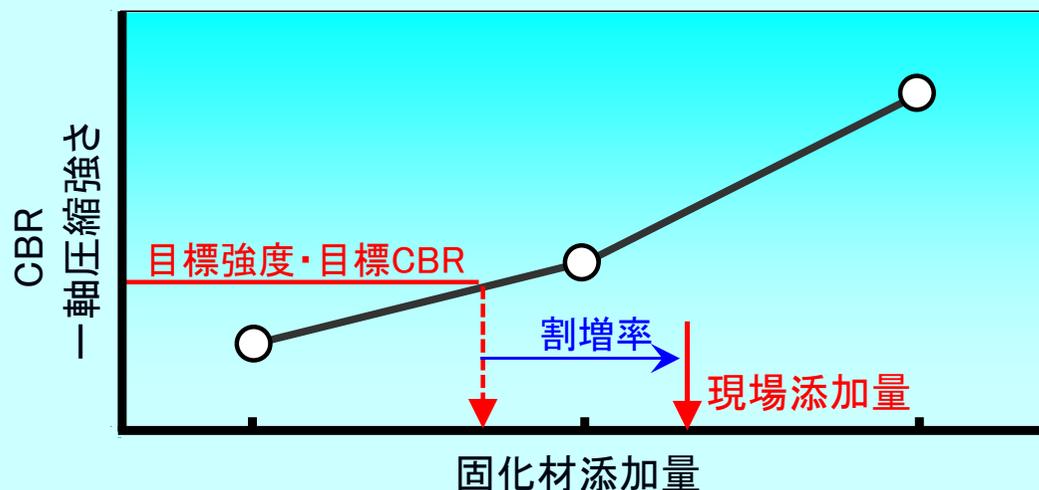
$$q_{ul} = q_{uck} / \alpha_{kl}$$

・ α_{kl} : (現場/室内)強さ比

現場添加量

= 目標強度を満足する添加量に
割増率を考慮したもの。

《路床・路盤改良の場合》



■ 路床改良の場合の割増率

処理厚さ	土の種類	割増率
50cm未満	全対象土	15~20%
50cm以上	砂質土	20~40%
	粘性土	30~50%

■ 路盤改良の場合の割増率

・ 15~20% の範囲

浅層改良の「強さ比」の目安

固化材の混合方式	改良対象土	施工機械	(現場／室内) 強さ比 α_{kl}
粉体	一般的な軟弱土 (粘性土, 砂質土 等)	スタビライザ バックホウ 自走式土質改良機	0.5～0.8
			0.3～0.7
スラリー	例えば・・・ ・設計基準強度: $qu_{ck} = 1000 \text{ kN/m}^2$ (現場目標強度) ・(現場/室内)強さ比: $\alpha_{kl} = 0.5$ のとき 室内目標強度: $qu_{cl} = qu_{ck} / \alpha_{kl}$ $= 1000 / 0.5 = 2000 \text{ kN/m}^2$		

注) 締固めを行う場合も含む
1980～1985年, 2020年のセメント協会調査データ

六価クロム溶出試験 通達の経緯

- セメントは主成分(Ca,Si,Al,Fe)の他に、各種微量元素を含んでいる。
- セメントの原料中のクロムは一般に三価クロムとして存在しているが、焼成過程における高温で一部が酸化され六価クロムとなり、セメント鉱物中に存在する。

〔改良土〕

改良土からの六価クロムの溶出量は、土質、配合等の条件によっては土壤環境基準を超えることがある。

〔モルタル 及び コンクリート〕

モルタル及びコンクリートからの溶出量は、土壤環境基準を満足する。
(基準値：0.05mg/l以下)

- 『セメント系固化処理土検討委員会』発足（国土交通省(旧建設省)）：1999年12月～

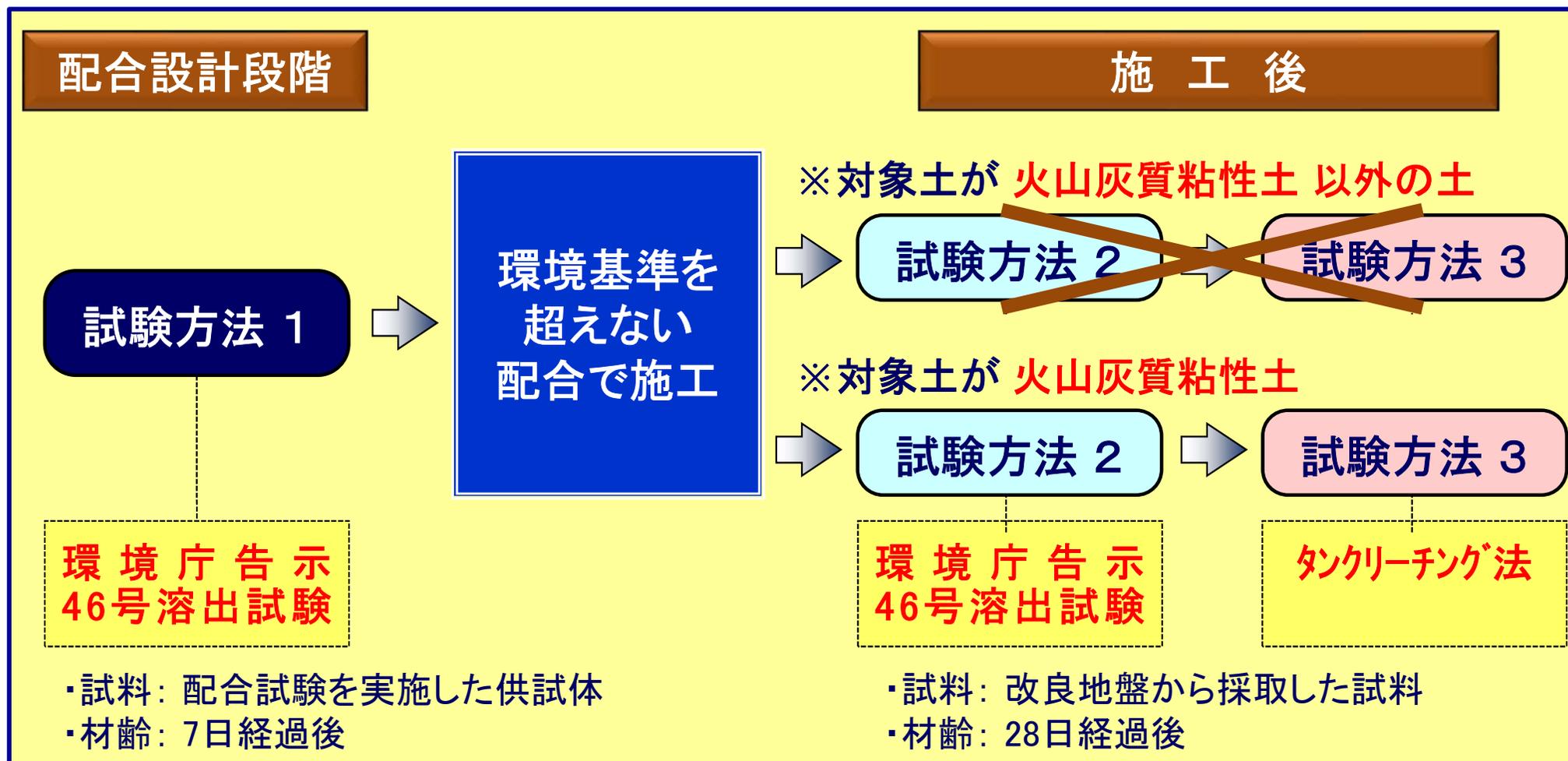
〔通達〕セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について

- 2000年3月：建設省・運輸省・農林水産省
- 2001年4月：試験要領(案)の一部変更（国土交通省）

通達に示されている試験方法

—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実施要領(案)—

※ 2001年4月『試験要領(案)の一部変更(国土交通省)』の概要



通達に示されている試験方法

■ 環境庁告示46号溶出試験



[定量方法]



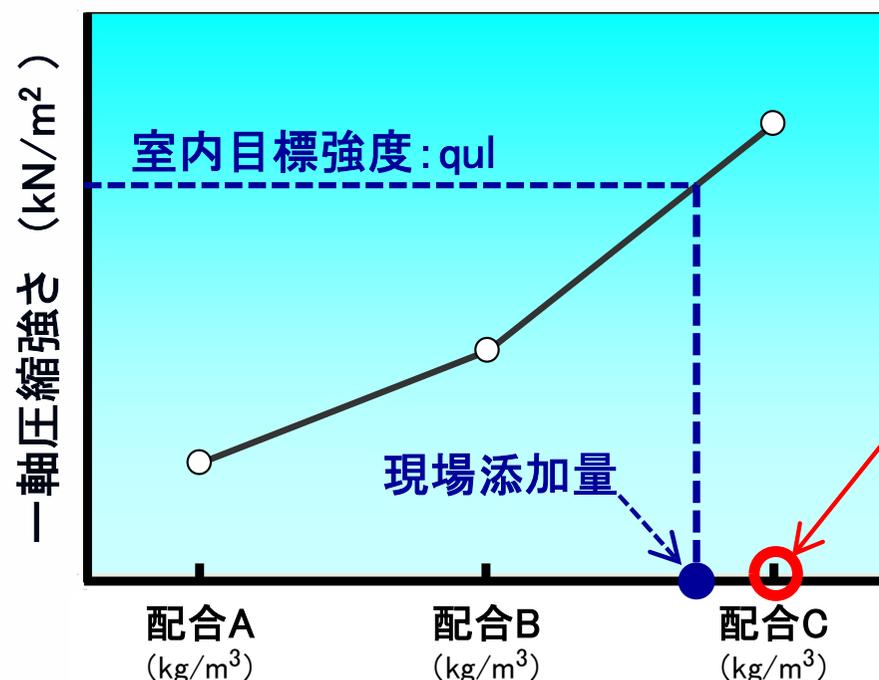
(JIS K 0102の65.2.4)

⑤ ICP質量分析法

(JIS K 0102の65.2.5)

通達に示されている試験方法

■ 試験方法1(配合設計段階)で実施する添加量の決め方



※ 室内配合試験結果から求められた、現場添加量に最も近い配合Cの供試体を環境庁告示46号溶出試験に供する。

固化材には極微量の六価クロム化合物が含まれている。

これを用いた改良土からはまれに六価クロムが環境基準値 0.05mg/l以下 を超えて溶出する場合がある。

事前の溶出試験で環境基準値に適合することを確認する。

— 本日の内容 —

1. セメントおよびセメント系固化材について

- セメントの原料と製造工程
- セメント産業の廃棄物等の有効利用
- セメント系固化材の種類と特徴
- セメント系固化材による改良の原理
- セメント系固化材による改良土の特性

2. セメント系固化材による地盤改良工法

- 地盤改良工法の分類
- セメント系固化材による地盤改良工法の分類
- セメント系固化材の用途と適用

3. 地盤改良に関する試験

- 試験の位置付けと種類
- 室内配合試験
- 六価クロム溶出試験

4. 地盤改良適用事例, 書籍の紹介

- 事例調査報告書: 防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版

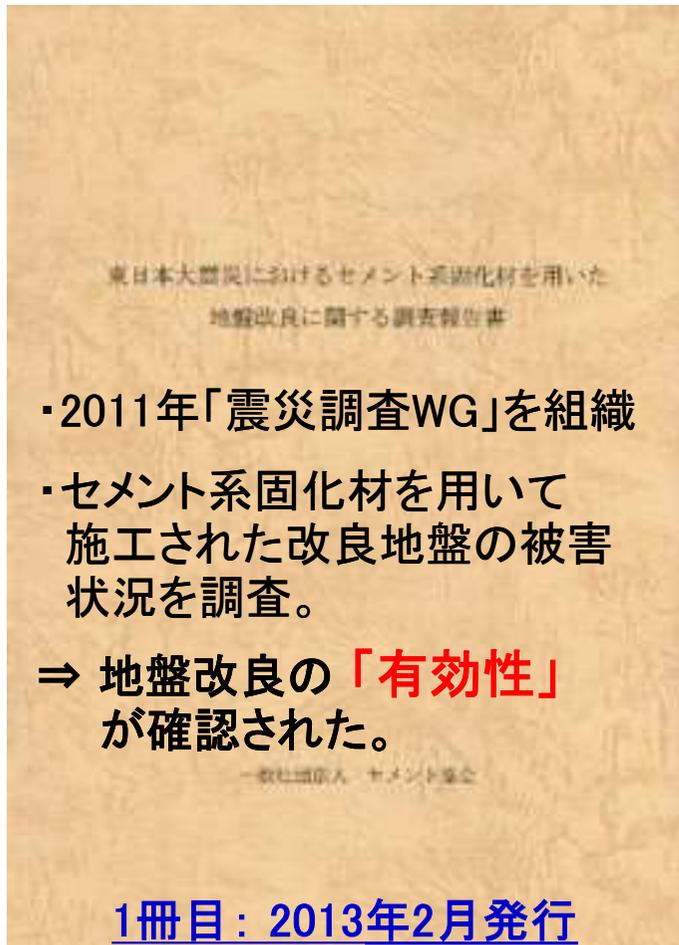
地盤改良に関する調査報告書

➤ セメント協会では、これまでに3冊の調査報告書を発行した。

1冊目：東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書

2冊目：大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割

3冊目：セメント系固化材の拡がる用途と役割



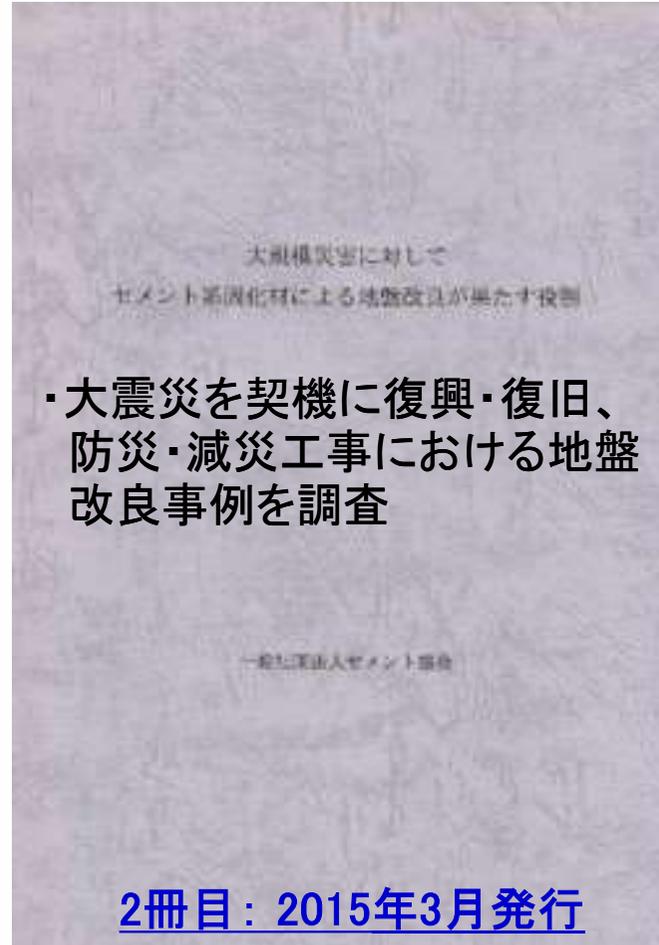
東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた
地盤改良に関する調査報告書

- ・2011年「震災調査WG」を組織
- ・セメント系固化材を用いて施工された改良地盤の被害状況を調査。

⇒ 地盤改良の「有効性」が確認された。

一般社団法人 セメント協会

1冊目：2013年2月発行

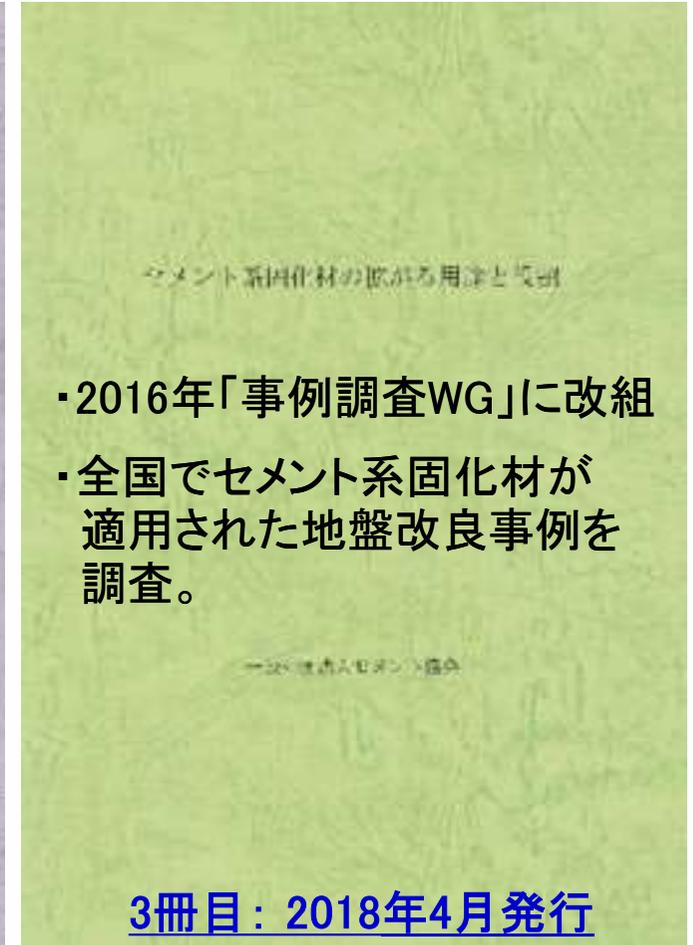


大規模災害に対して
セメント系固化材による地盤改良が果たす役割

- ・大震災を契機に復興・復旧、防災・減災工事における地盤改良事例を調査

一般社団法人セメント協会

2冊目：2015年3月発行



セメント系固化材の拡がる用途と役割

- ・2016年「事例調査WG」に改組
- ・全国でセメント系固化材が適用された地盤改良事例を調査。

一般社団法人セメント協会

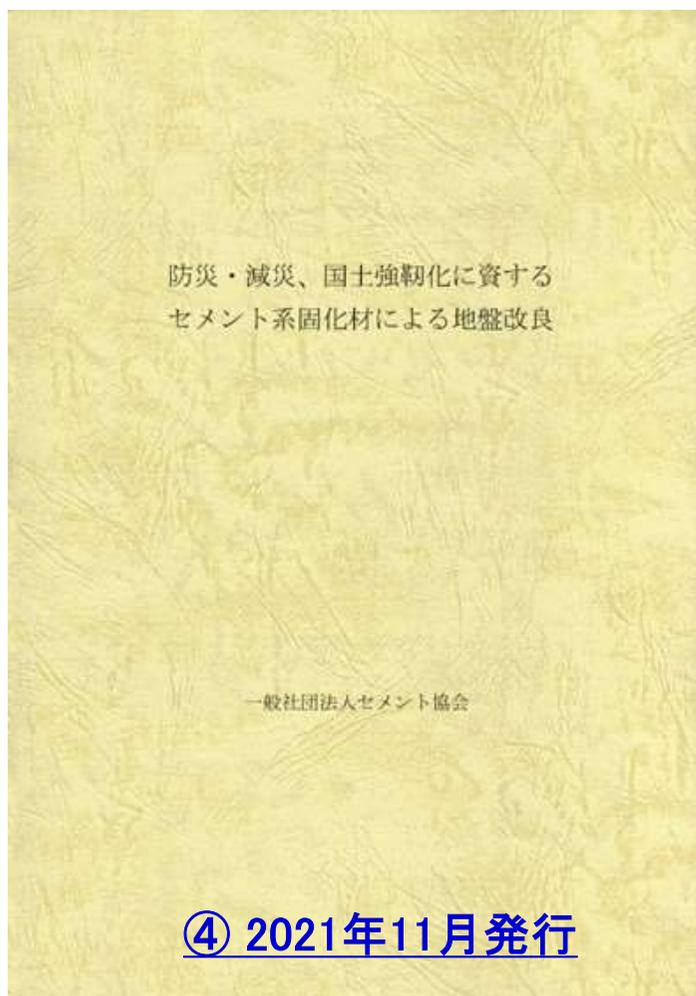
3冊目：2018年4月発行

地盤改良に関する調査報告書

➤ セメント協会では2021年11月に4冊目の調査報告書を発行した。

4冊目：防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良

→ 国土強靱化（復旧・復興、防災・減災など）適用された地盤改良事例を軸に
汎用的な工事事例 および 海外での調査事例（香港、フランス）を収集



— 目次 —

1. はじめに
2. 近年の自然災害とセメント系固化材による地盤改良
3. 調査概要
4. 復旧・復興、防災・減災における地盤改良工事
5. 汎用的な地盤改良工事
6. 海外調査

調査報告書の目的

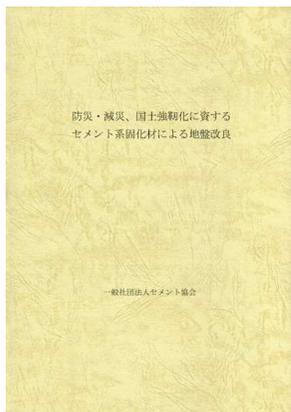
- 地盤改良技術の更なる発展と普及を目指すこと
- 大地震や土砂災害などに対し、強靱なインフラ施設の整備に活用されること。
- 技術的・記録的資料として活用されること
⇒ 地盤改良工事に従事される方々の参考となること



報告書への事例掲載地区

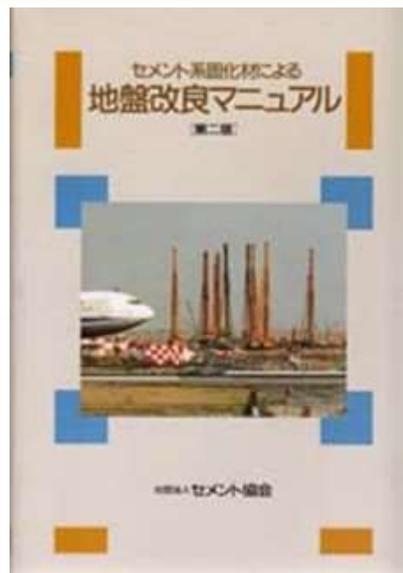
全国 87件の工事事例を収集
⇒ うち16件の事例を本報告書で紹介

- 復旧・復興、防災・減災での地盤改良工事
- 汎用的な地盤改良工事

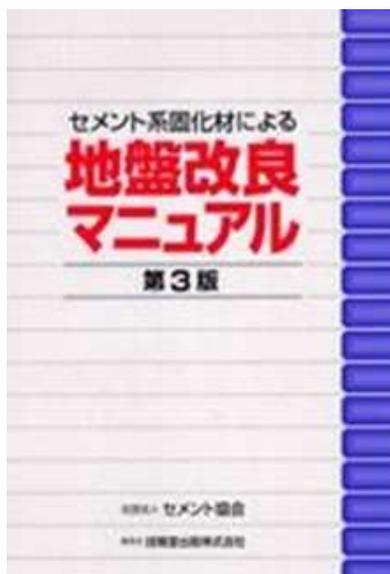




第1版：1985年 発刊



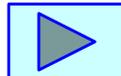
第2版：1994年 発刊



第3版：2003年 発刊

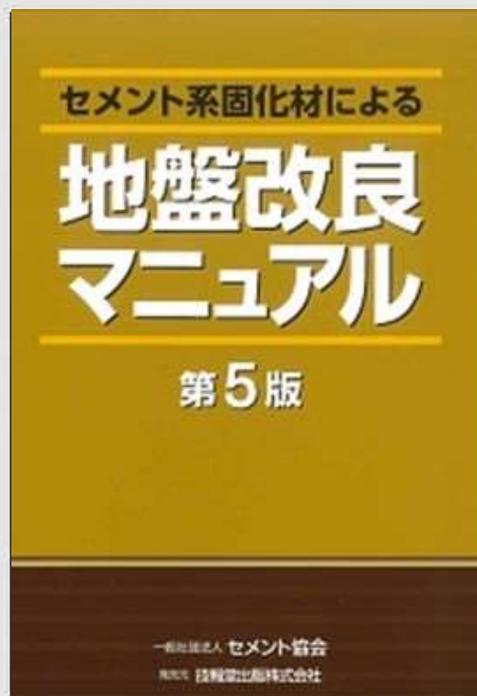


第4版：2012年 発刊



セメント系固化材による 地盤改良マニュアル

1985年に初版を発刊し、以降ほぼ9年ごとに改訂を重ねてきた本書の第5版が完成しました。災害からの強化復旧、大規模災害への対策、ICTの活用、最新技術データ・指針類の反映など、頁数・図表数を増やしての改訂です。



最新第5版
発刊しました。

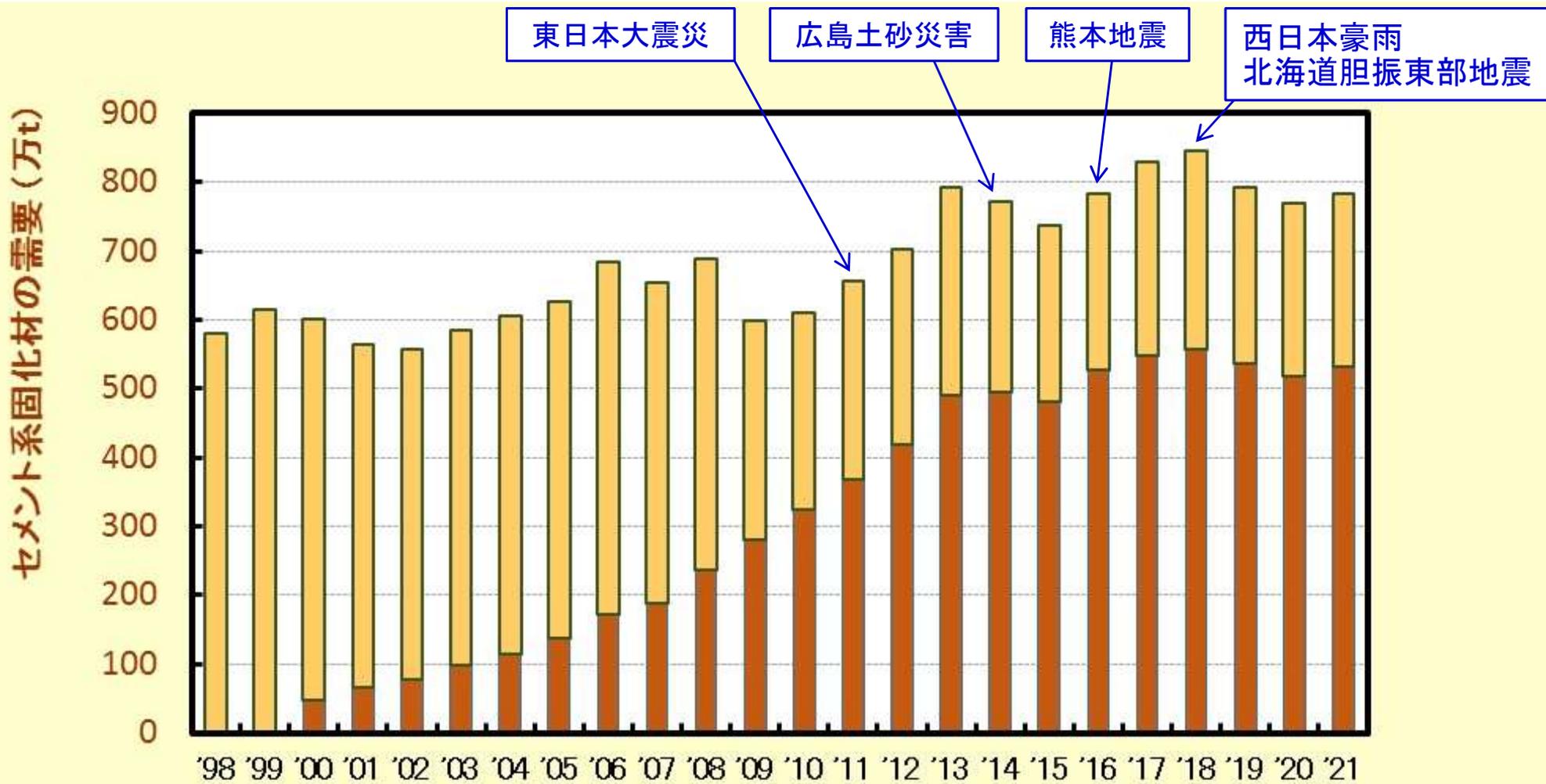
第5版 改訂のポイント

- ① 最新の技術データ・指針類を用いて全章の内容を見直し。
- ② セメント系固化材の特徴と固化の原理をよりわかりやすく解説。
- ③ 浅層改良および深層改良に加えて、近年使用実績が増えている中層改良についても記述。
- ④ 大規模災害におけるセメント系固化材の活用方法やその適用について新章を設けて解説。
- ⑤ 実施例をすべて刷新。15事例を紹介。

A5判 502頁
税込定価 6600円

1. セメント系固化材とその適用
2. セメント系固化材による地盤改良の原理と改良土の特性
3. 地盤改良にあたっての事前調査および試験
4. 浅層改良・中層改良
5. 深層改良
6. 建築物のための地盤改良
7. 発生土の改良
8. 環境と固化処理
9. 災害に強いセメント系固化材
10. 実施例

セメント系固化材の需要推移



- ・建設リサイクル法
- ・六価クロム通達(建設省)
- ・特殊土用固化材販売開始
- ・住宅品質確保促進法

- ・土壌汚染対策法

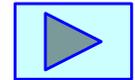
- ・建築基準法改正

- ・住宅瑕疵担保履行法
- ・土壌汚染対策法改正

- ・国土強靱化基本法

- ・建築センター指針改訂

- ・土壌汚染対策法一部改正



動画配信のご案内 セメント系材料の基礎知識

セメント協会では、セメント系材料であるコンクリート舗装、セメント系固化材、セメント系補修材・補強材について、各種リアルセミナーの開催や技術展示会への出展など、幅広く普及活動を展開しております。

このたび、セメント系材料に関する基礎知識講座を開設しました。本講座では、材料の種類や特性、用途など基本的な知識の習得を目的としております（土木学会 CPD 認定プログラム）。

いつでも、どこでも、なんどでも、必要な時に役立つ情報を視聴できるように努めてまいります。

是非ともこの機会にご視聴いただきたくお願いいたします。

セミナーの
予習・復習

技術展示での
情報補完

土を固める
セメント系固化材

ご清聴ありがとうございました



コンクリート舗装



セメント系固化材



セメント系補修材

いますぐクリック! jcafukyu.jp

本講座はテーマごとにシリーズ化いたします
定期的なチェックをお願いいたします

無料

お問合せ先
一般社団法人セメント協会 普及部門
fseminar@jcassoc.or.jp

一般社団法人 セメント協会