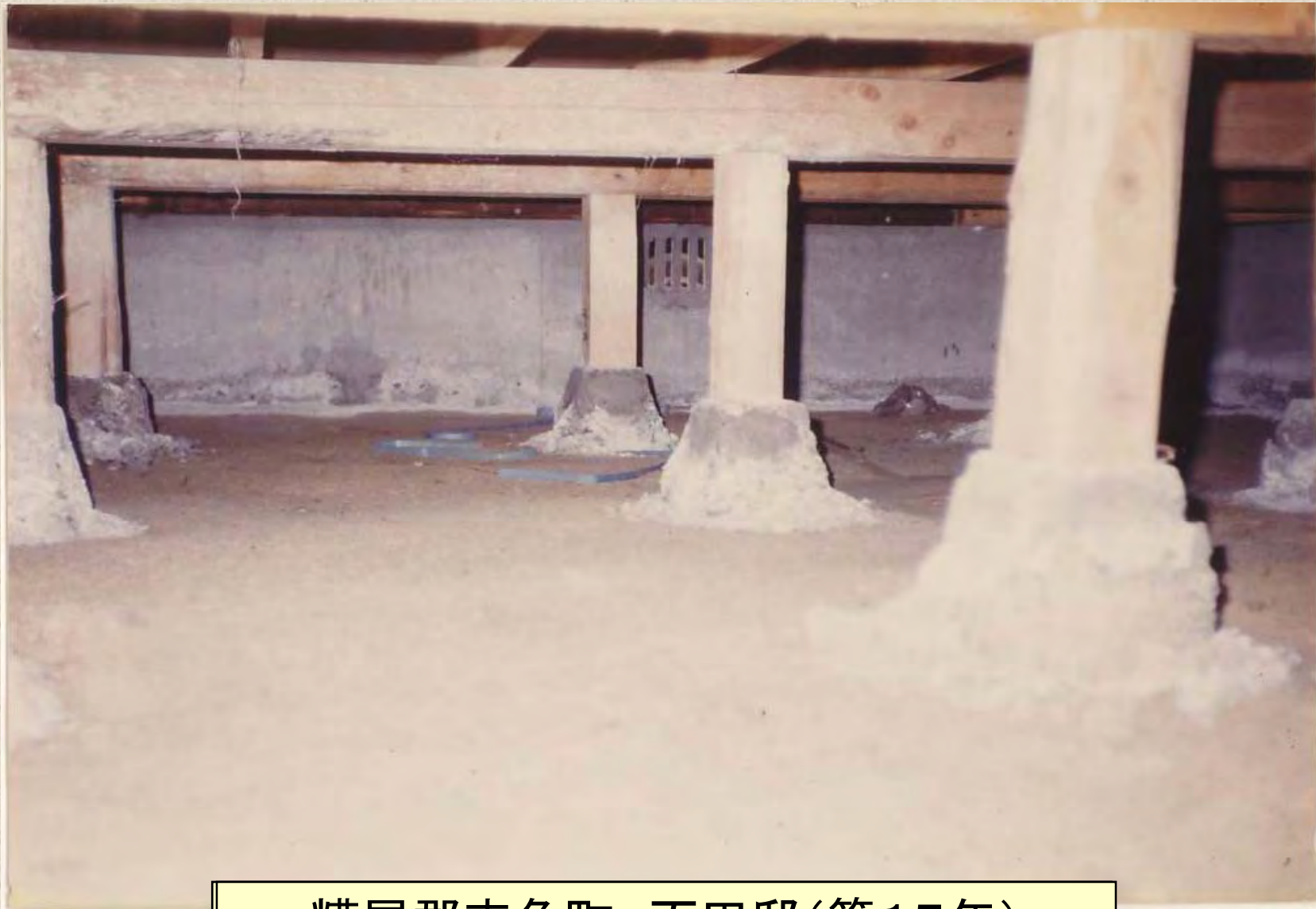


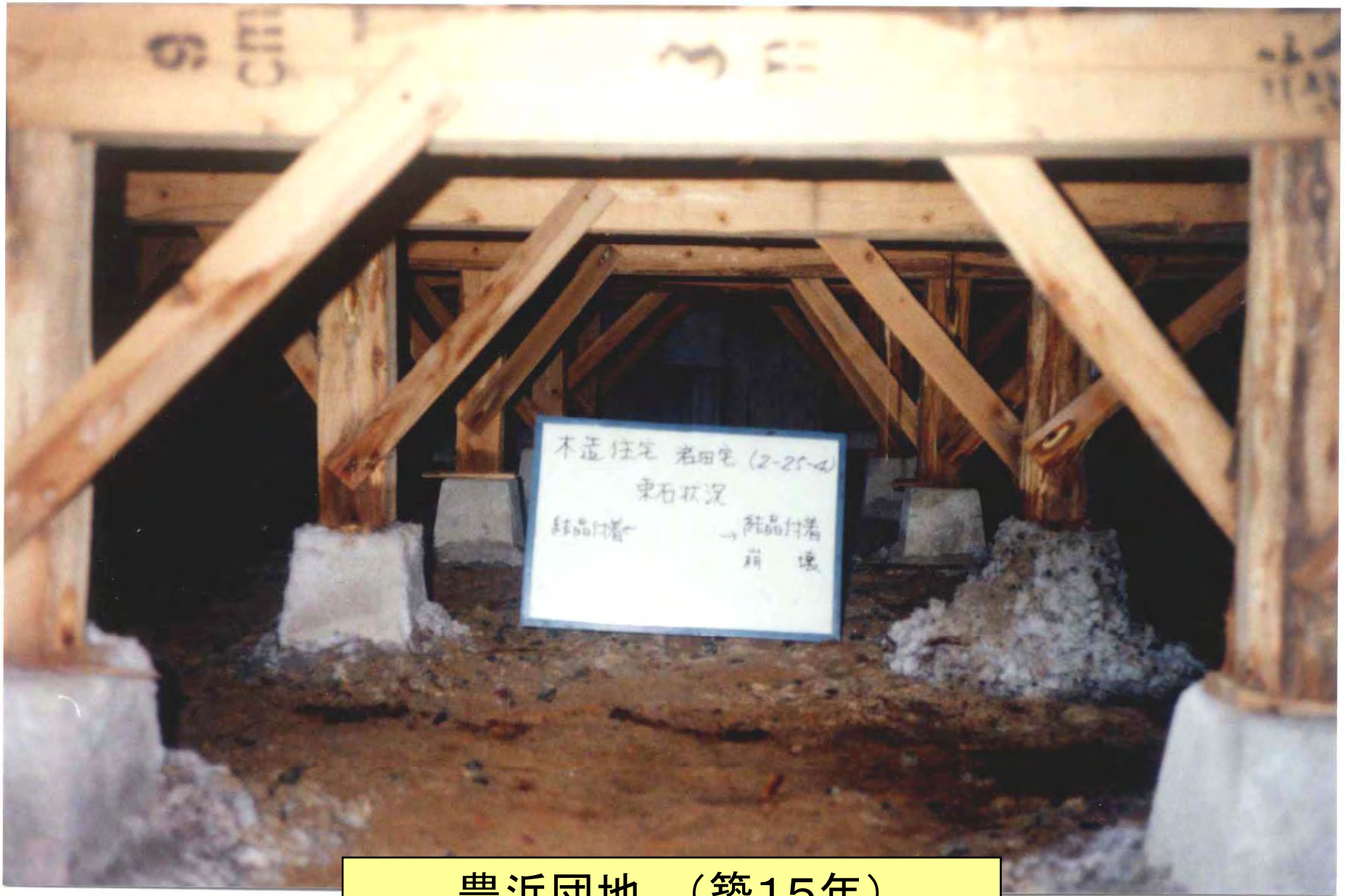
硫酸性地盤における
建物基礎コンクリートの劣
化

九州大学 名誉教授
福岡建設専門学校 校長
松下博通



糟屋郡志免町 百田邸(築15年)

志免ボタ山からのボタで造成しマサ土を30cm~60cm客土



豊浜団地 (築15年)

姪浜炭坑のボタで造成しマサ土を50cm~80cm客土



豊浜団地 (築15年)独立基礎



豊浜団地 (築15年) 束石基礎



豊浜団地(築15年程度)



豊浜団地木造家屋(築15年)

はつり前



豊浜団地木造家屋(築15年)

はつり後



豊浜団地 Floor post footings

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Floor post footings

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 独立基礎

はつり前

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 独立基礎

はつり後

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 独立基礎

はつり前

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豐浜団地 独立基礎

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

はつり前

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

はつり前

表面付着物の近接撮影



豊浜団地 Continuous footings

表面付着物はつり前

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

表面付着物はつり後

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

表面付着物はつり前

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

表面付着物はつり後

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

Deterioration Collapse Conditions of Concrete Housing Footings



豊浜団地 Continuous footings

解体中の家屋の表面付着物の付着状況



豊浜団地 Continuous footings

解体中の家屋の表面付着物の付着状況

外部に通じる吹き抜け孔の近傍ほど立ち上がり高さが高い



豊浜団地 水道管の腐食状況



宮崎市住宅供給公社団地 Continuous footings

劣化基礎にアスファルトコーティングが施されている



宮崎市住宅供給公社団地 Continuous footings

劣化基礎にアスファルトコーティングが施されている



宮崎市住宅供給公社団地 Floor post footings

劣化基礎にアスファルトコーティングが施されている

糟屋小学校校舎南側・西側



基礎化粧モルタルの損傷現況

糟屋小学校校舎南側・西側



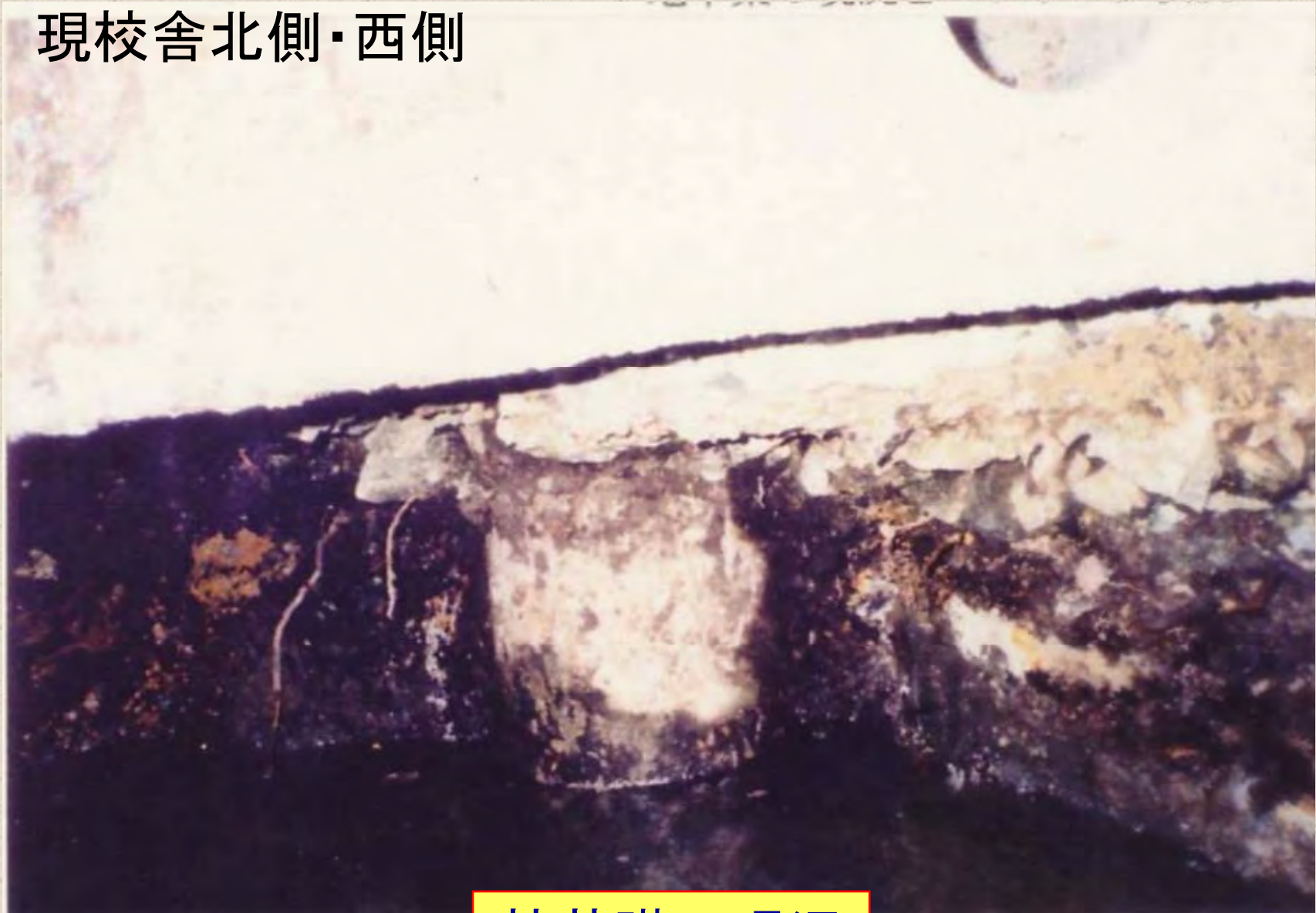
基礎化粧モルタルの損傷現況

糟屋小学校校舎南側・西側



損傷を受けた化粧モルタル下のコンクリートは比較的健全である。

現校舎北側・西側



杭基礎の現況

佐賀県杵島郡江北町



杵島炭坑のボタによる造成

(モンモリロナイトを含んでいるため、土が膨張して、床版を持ち上げている)

佐賀県杵島郡江北町



杵島炭坑のボタによる造成

(モンモリロナイトを含んでいるため、土が膨張して、床版を持ち上げている)

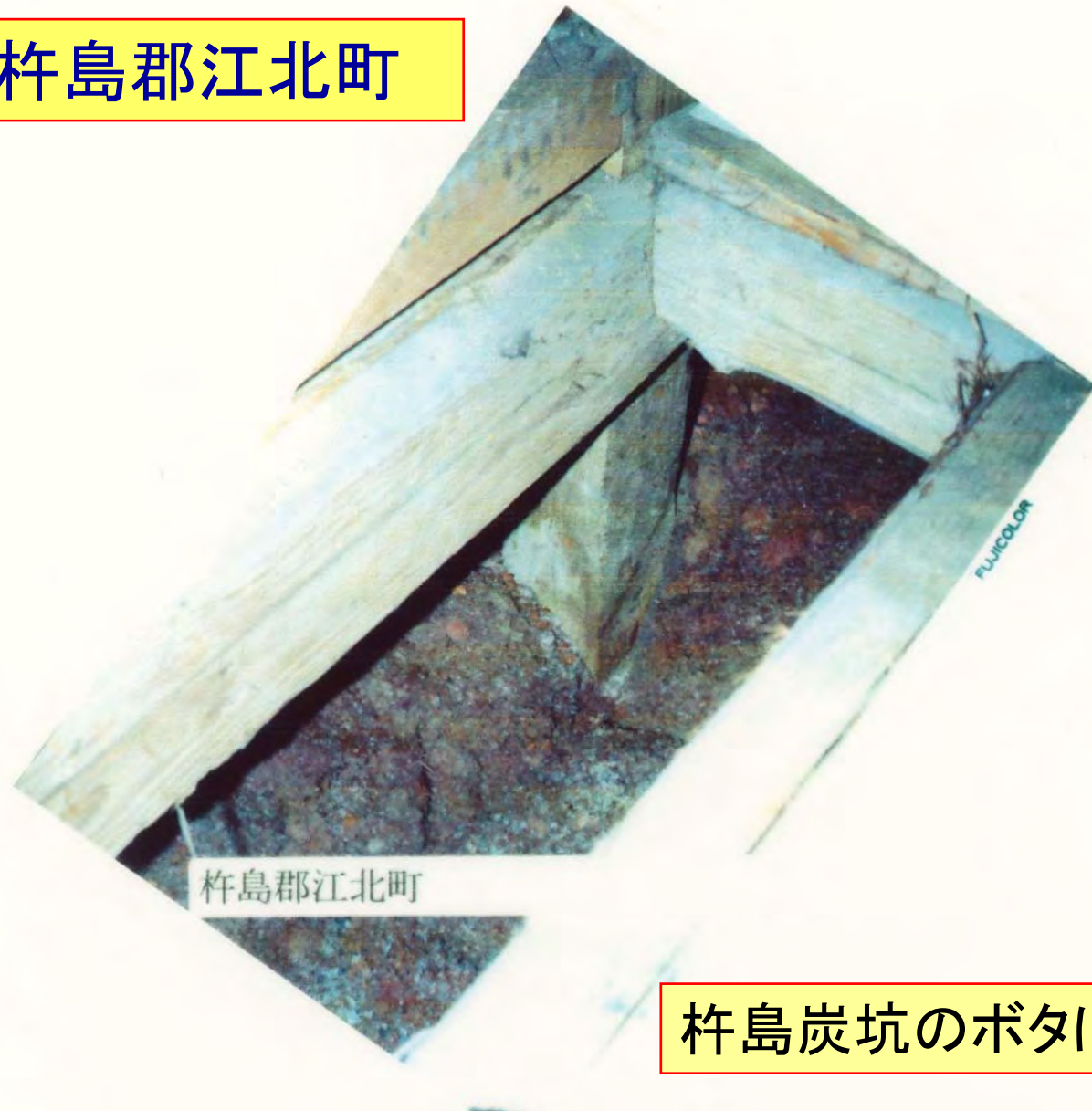
佐賀県杵島郡江北町



杵島炭坑のボタによる造成

(モンモリロナイトを含んでいるため、土が膨張して、床版を持ち上げている)

佐賀県杵島郡江北町



杵島炭坑のボタによる造成

(モンモリロナイトを含んでいるため、土が膨張し床下空間が低くなっている)

佐賀県杵島郡江北町

杵島炭坑のボタによる造成



佐賀県小城郡小城町



杵島炭坑のボタによる造成

佐賀県小城郡小城町



佐賀県小城郡小城町



佐賀県小城郡小城町



佐賀県杵島郡江北町



杵島炭坑のボタによる造成

(粘土で製造された赤煉瓦も劣化している)

佐賀県杵島郡江北町

杵島炭坑のボタによる造成

(床下に保存されている粘土瓦も崩壊している)

佐賀県杵島郡江北町

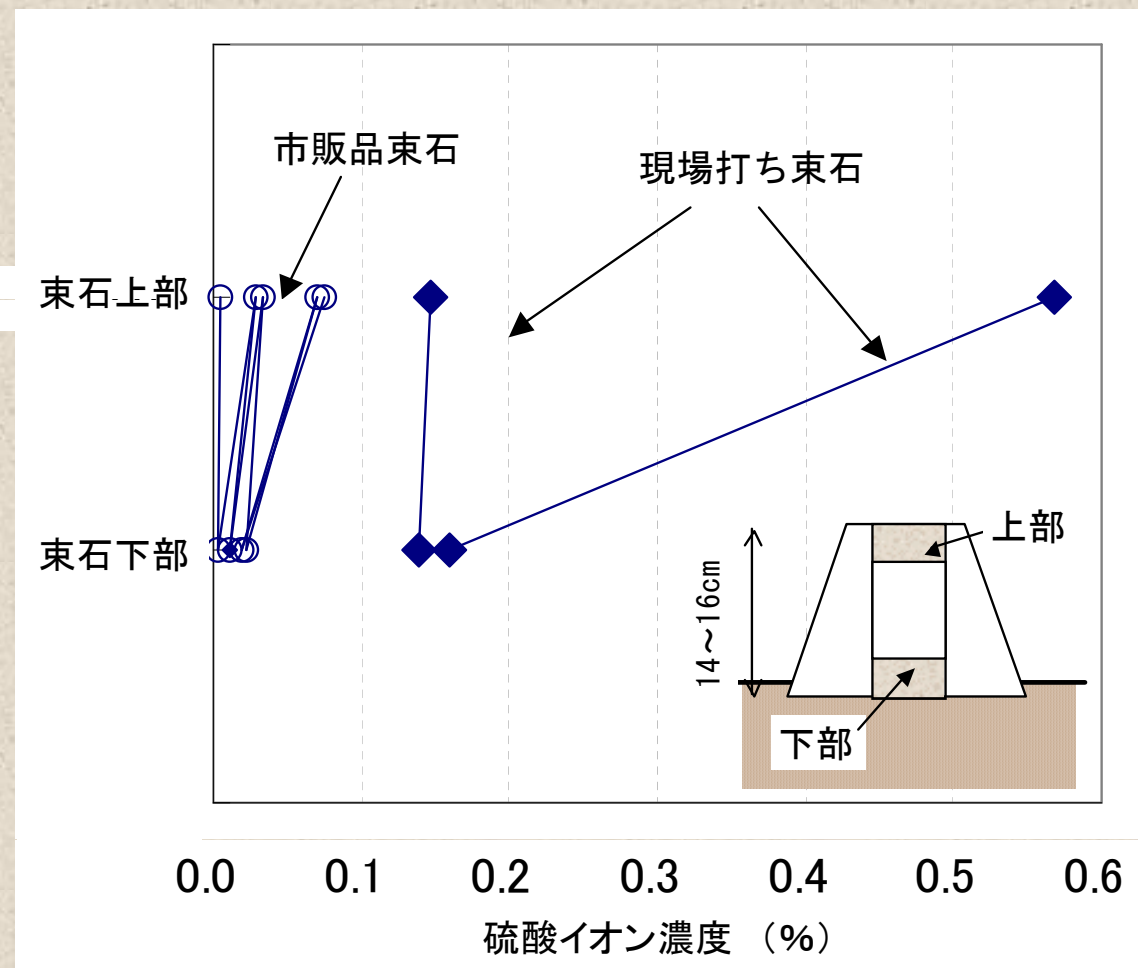
杵島炭坑のボタによる造成



(赤煉瓦も崩壊している)

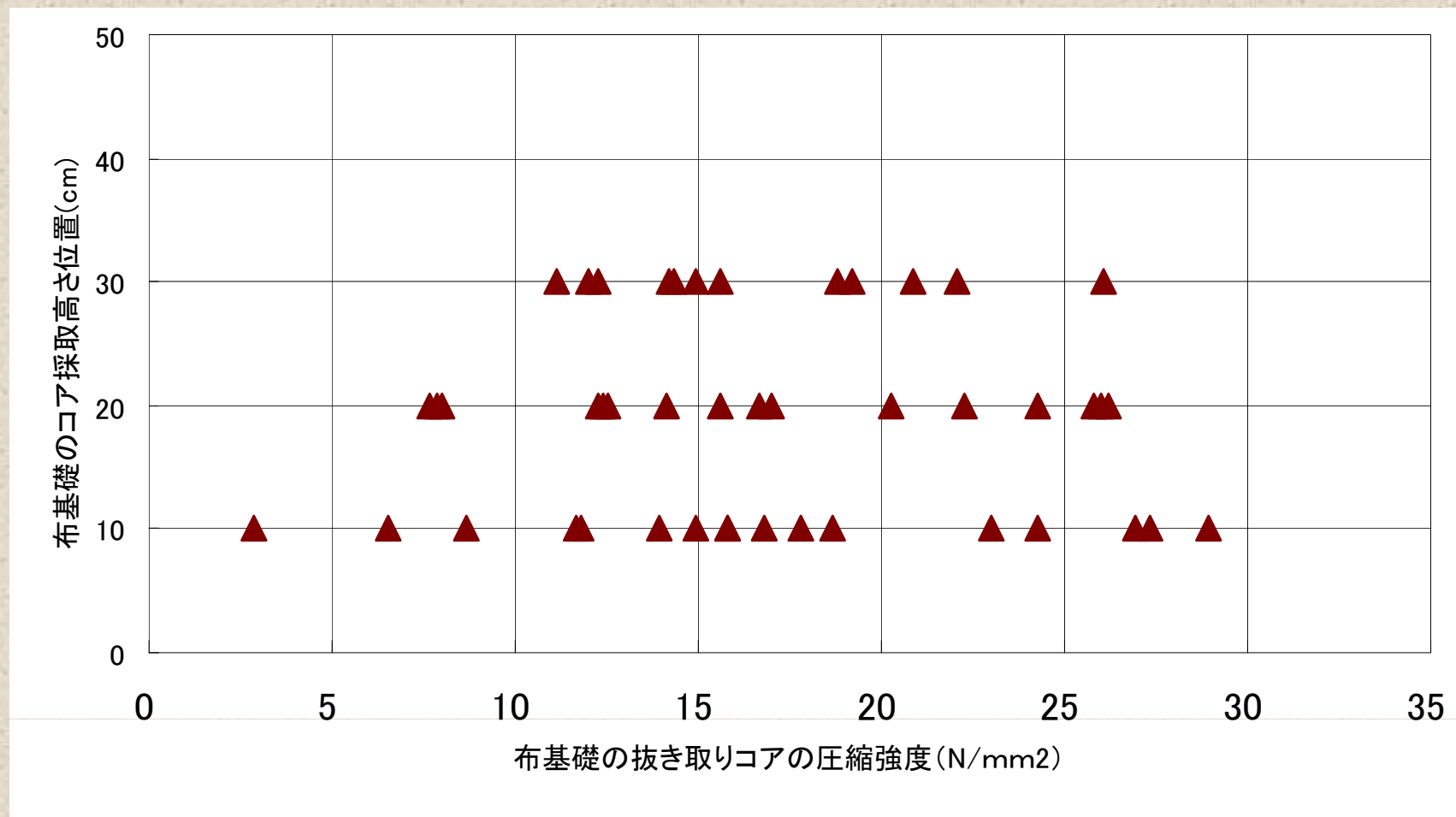
豊浜団地・基礎コンクリートの分析

- 東石の硫酸イオン濃度



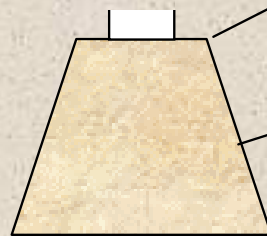
豊浜団地・基礎コンクリートの分析

- 布基礎の圧縮強度



豊浜団地 束石基礎の 劣化状況

①健全な状態

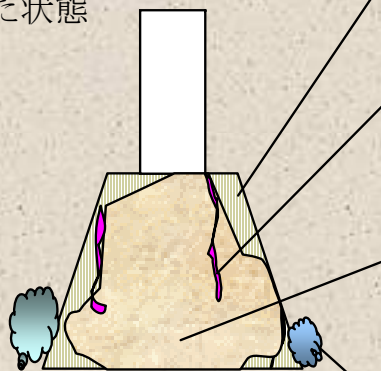


束石の高さは約 15cm

束石表面はひび割れなく平滑



②劣化した状態



【中性化部分】

【ひび割れ沿いの白色部分】

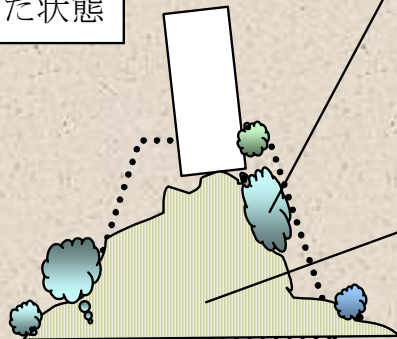
【未中性化部分】

【白色結晶】

束石表面全体に付着する粉状および針状結晶、ブラシで容易に除去できる、周囲の床下土に達する。



③崩壊した状態



【残留部分】

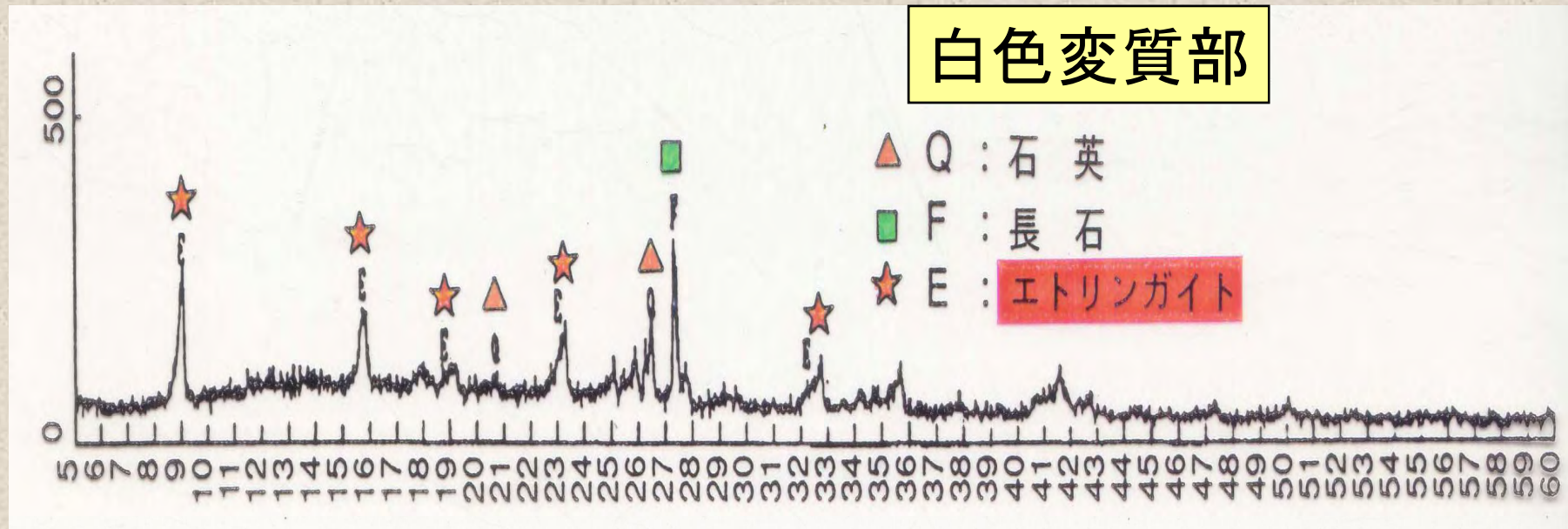
豊浜団地・基礎コンクリートの分析

配合推定

単位量 (kg/m ³)	単位 セメント量	単位水 量	単位骨材量	水セメント 比(%)	圧縮強度 (N/mm ²)	
東石	現場打	129	272	1802	211	6.3
	市販品	278	262	1705	94	19.4
	市販品	269	272	1684	101	15.1
布基礎 現場打		177	244	1755	134	11.1
		182	199	1961	109	14.3
		176	233	1936	132	15.8
		221	196	1835	89	26.1
		208	220	1846	106	19.2
		165	251	1914	153	14.2
		182	212	1975	116	14.9
		194	197	1919	102	20.9
		176	245	1888	139	7.7
	168	285	1784	170	12.2	
計算の 仮定値 (%)	セメント 中のCaO	骨材中 のCaO	骨材中の 不溶残 分	骨材の 比重	セメント の比重	空気量
東石	65.0	0.3	95.4	2.63	3.15	4
布基礎	65.0	0.9	94.7	2.57- 2.83	3.15	2

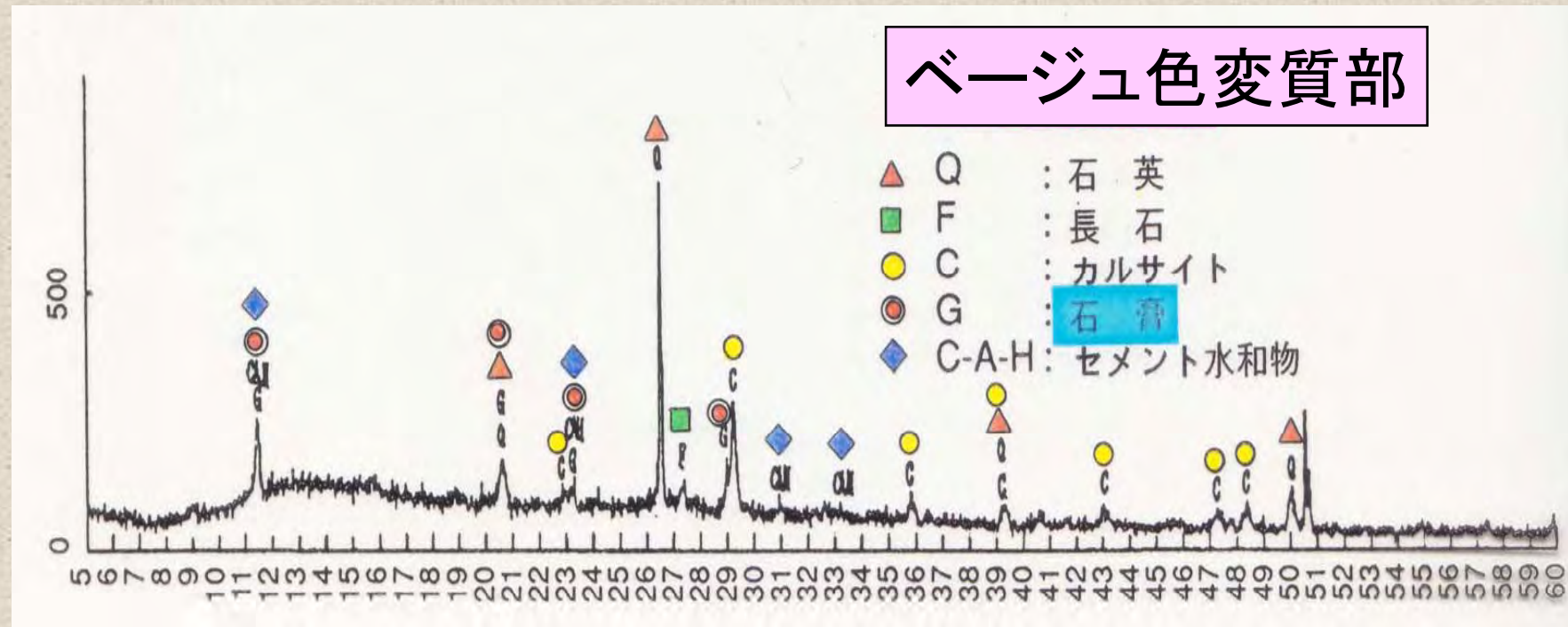
豊浜団地・基礎コンクリートの分析

X線回折図



豊浜団地・基礎コンクリートの分析

X線回折図



豊浜団地・基礎コンクリートの分析

崩壊東石内部のX線回折結果

	エトリンガイト $C_3AS_3H_{32}$	石膏 $CaSO_4$	カルカイト $CaCO_3$	石英 SiO_2	長石	水酸化 カルシウム	C-A-H
白色部	◎			△	△		
ベージュ色部		○	○	○	△		△
未変質部			△	◎	◎	○	△

C-A-H: Calcium Aluminate Hydrates

豊浜団地・基礎コンクリートの分析

白色結晶の粉末X線回折結果

鉱物名	ミラビル石 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	テナルド石 Na_2SO_4	方解石 CaCO_3	6.4 Å 相※	石英 SiO_2
針状～粉状	◎	○	—	—	—
皮殻状	—	—	◎	○	△

◎:多い, ○:中位, △:少ない, —:なし, ※:コンクリート分解産物の1変種か?

豊浜団地・基礎コンクリートの分析

東石の劣化

【白色結晶】

- ・ ひび割れ沿いを主体とする東石表面全体に付着
- ・ 粉状および針状結晶
- ・ ブラシ等で容易に除去できる

ミラビル石 $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

テナルド石 NaSO_4

東石の高さは約 15cm

【未変質部】

- ・ 中性化試験反応域
- ・ 劣化損壊した東石には残っていない

水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$

石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

方解石 CaCO_3

【ベージュ色変質部】

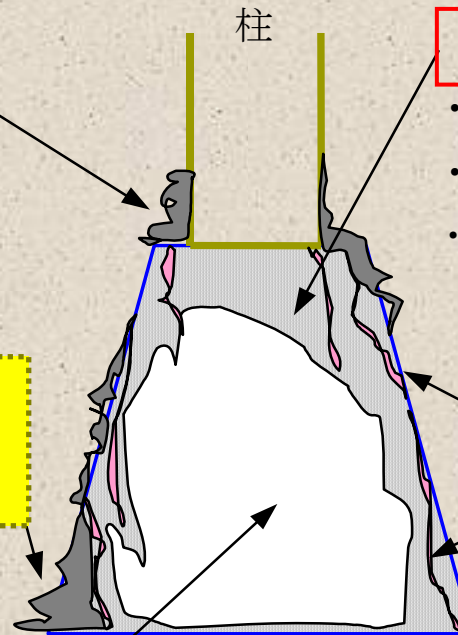
- ・ 中性化試験に反応しない
- ・ 未変質部の外側部分
- ・ ひび割れにより一部露出

【白色部】

- ・ ひび割れ沿いの開口面の白色化
- ・ ひび割れによる欠け落ちた面

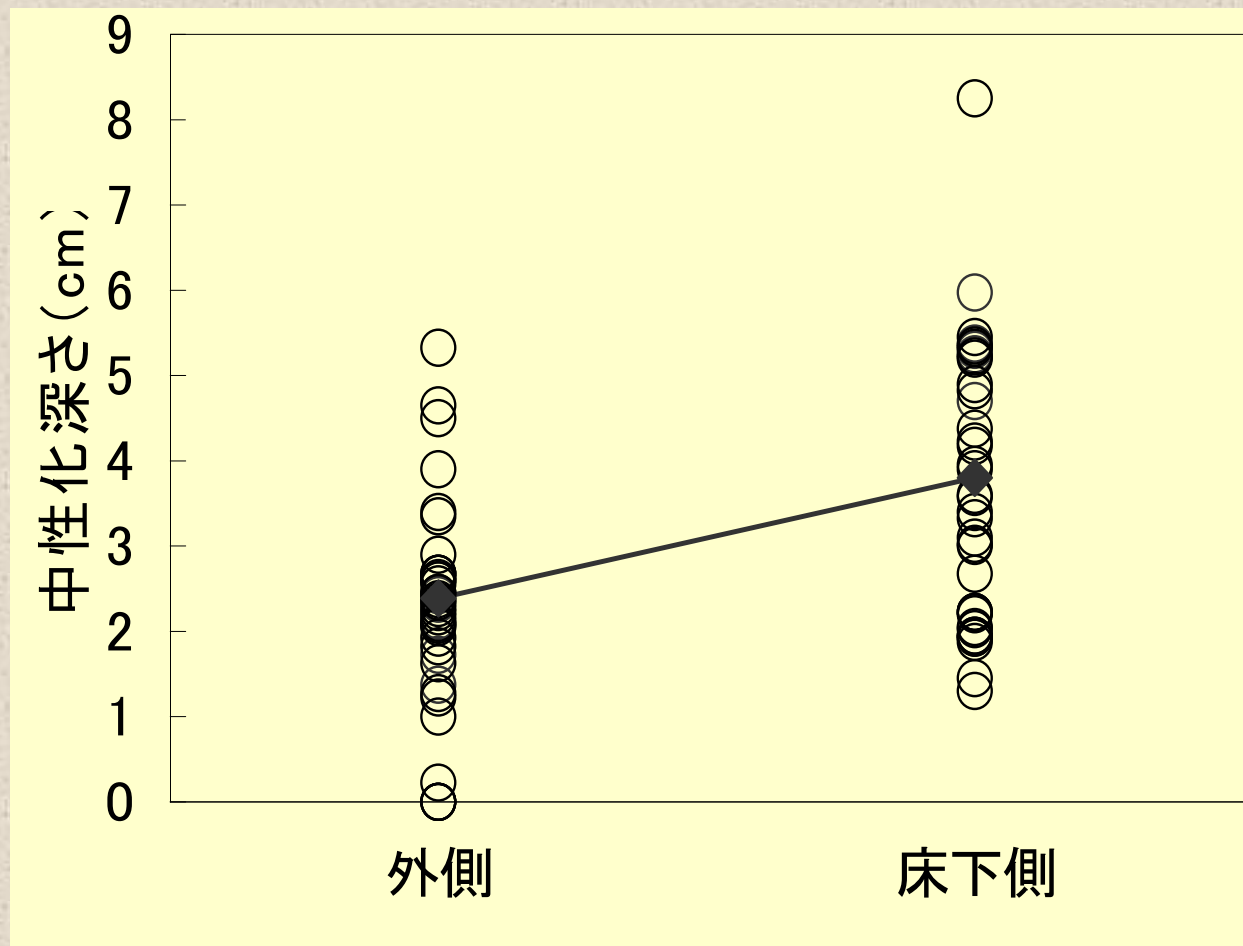
エトリンガイト

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$



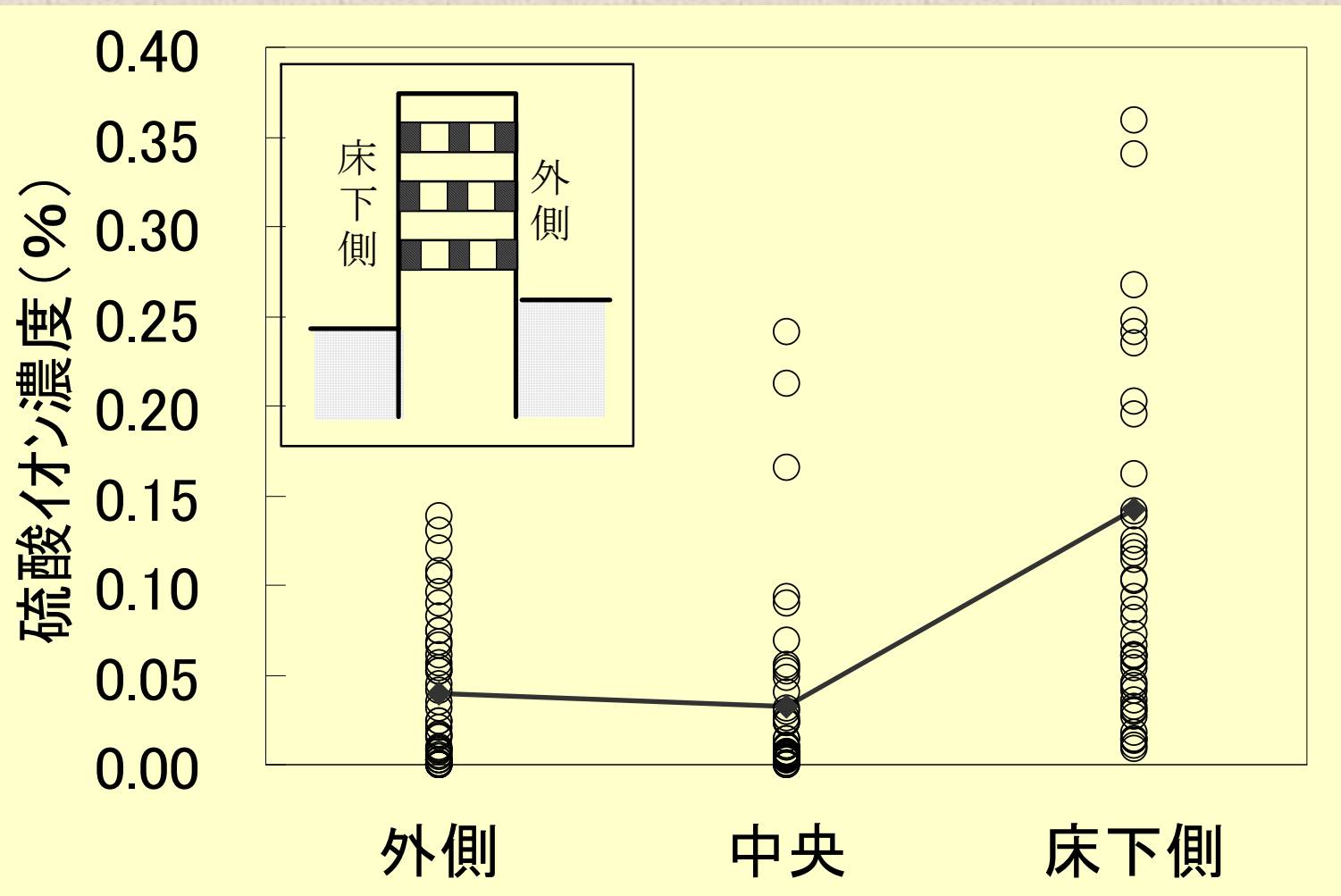
豊浜団地・基礎コンクリートの分析

布基礎の中酸化深さ



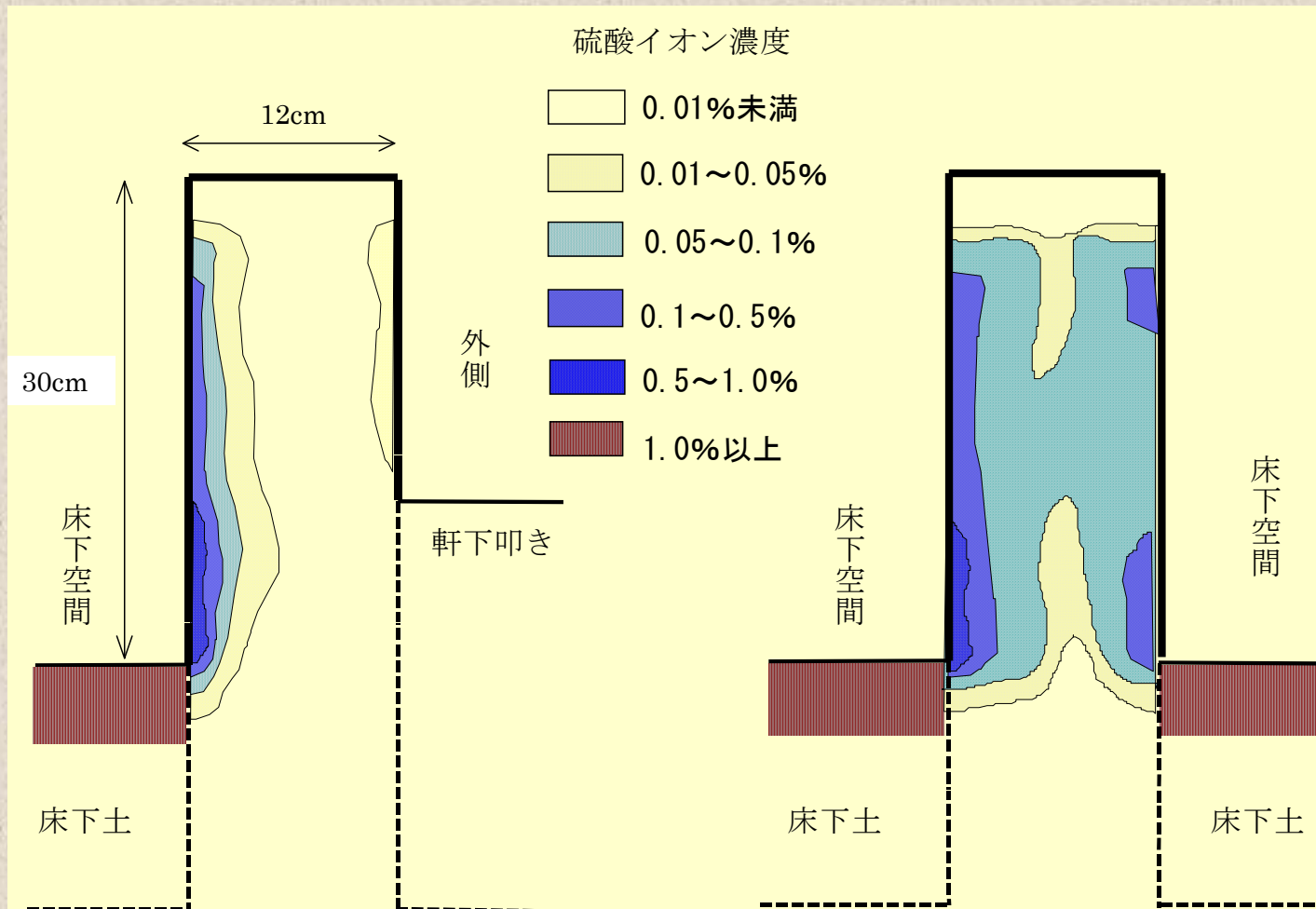
豊浜団地・基礎コンクリートの分析

- 布基礎の硫酸イオン濃度

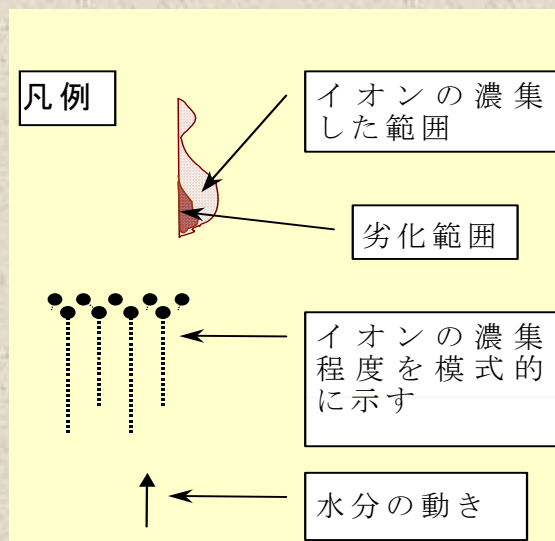
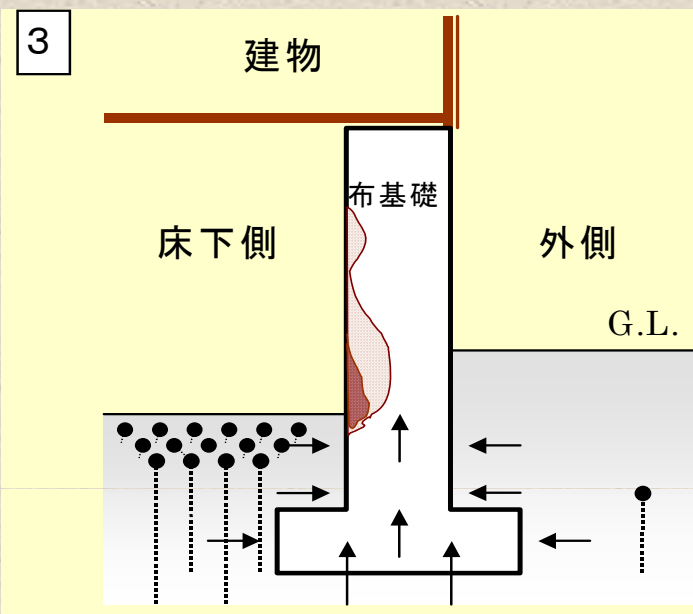
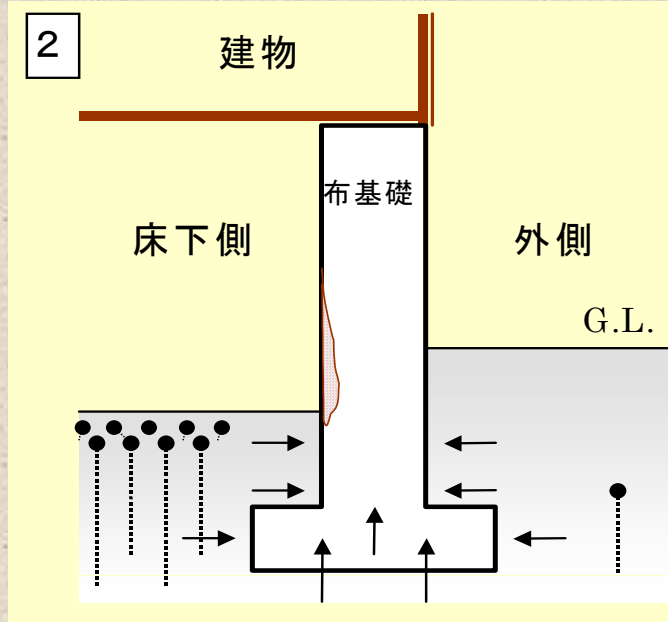
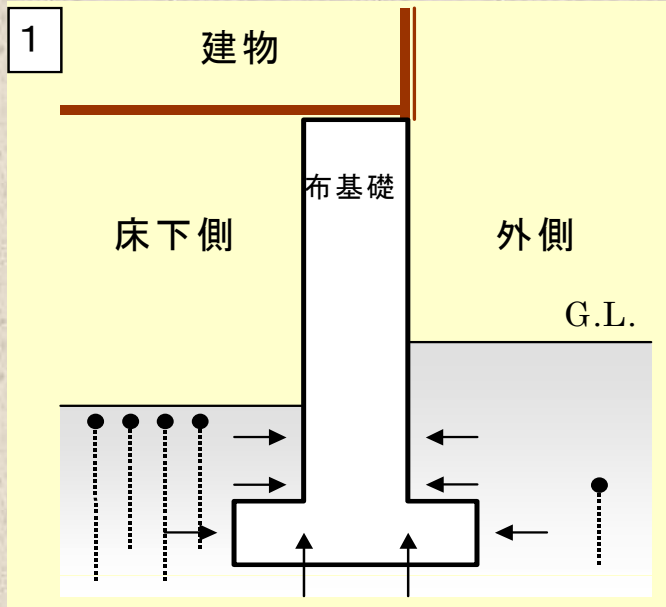


豊浜団地・基礎コンクリートの分析

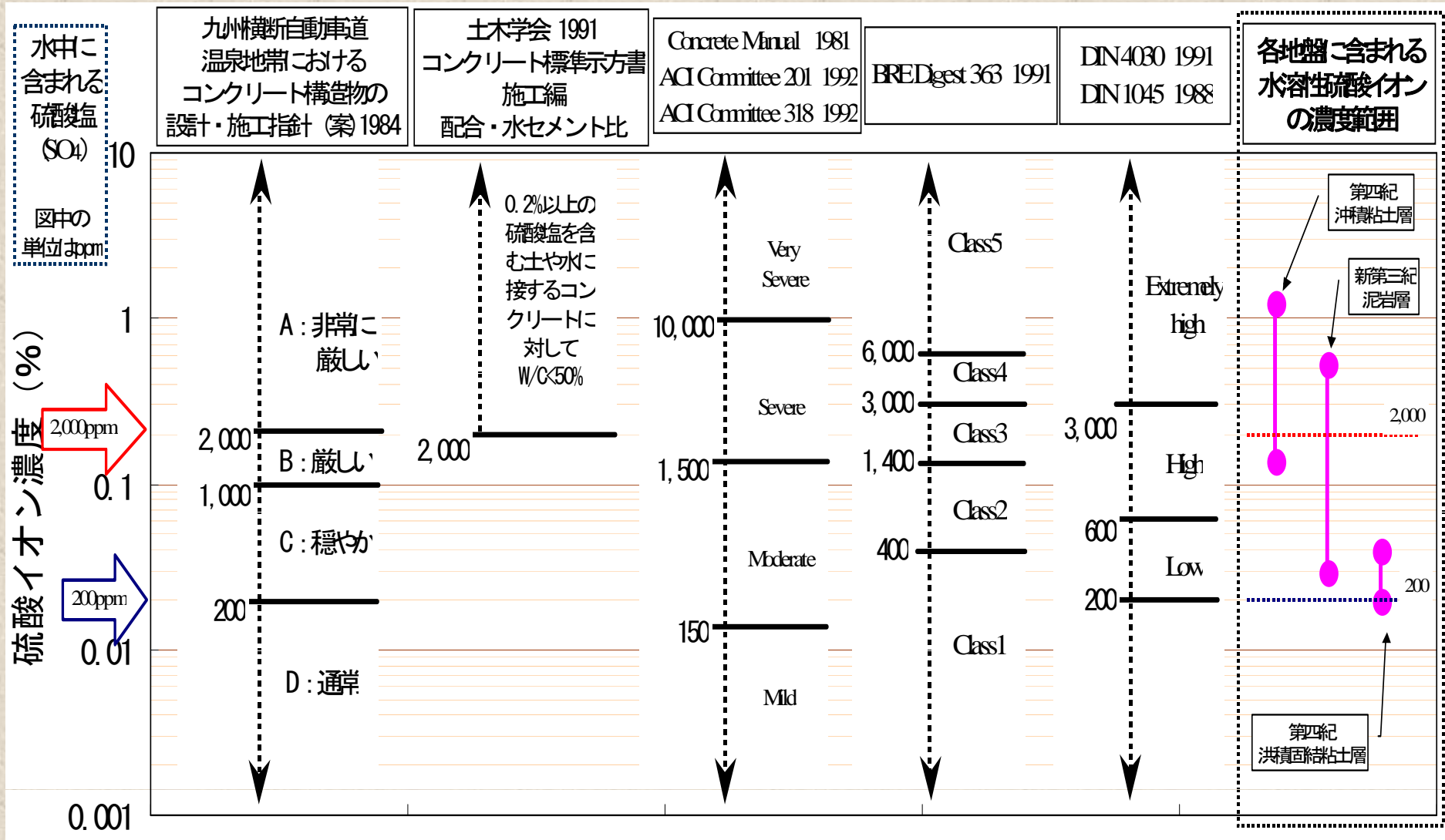
● 布基礎の硫酸イオン濃度分布



土に接する住宅基礎コンクリートの地中水分の動きとイオンの濃集現象

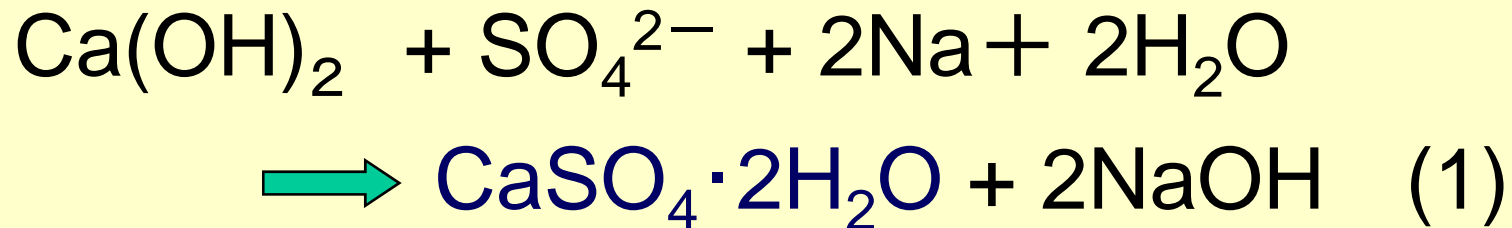


各国規準類からみた化学的腐食作用の厳しさ

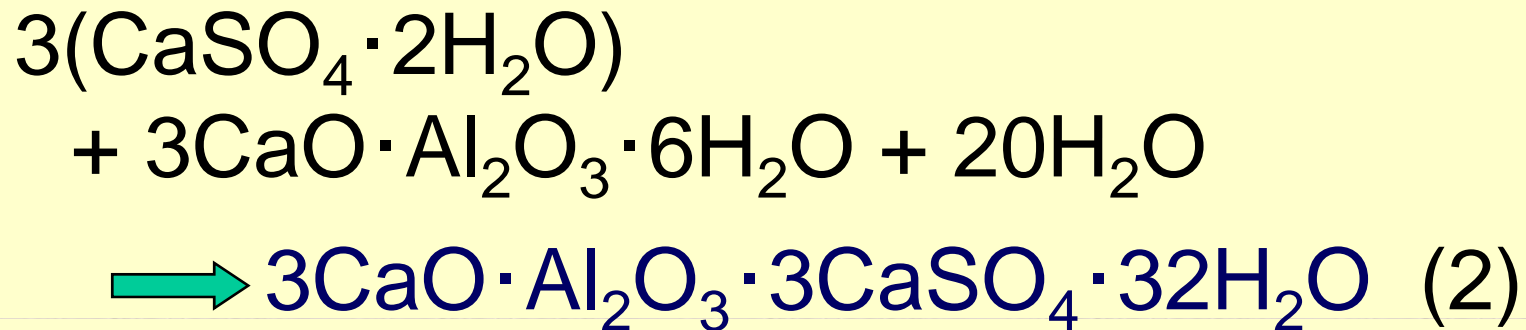


劣化に関わる化学反応

石膏の生成

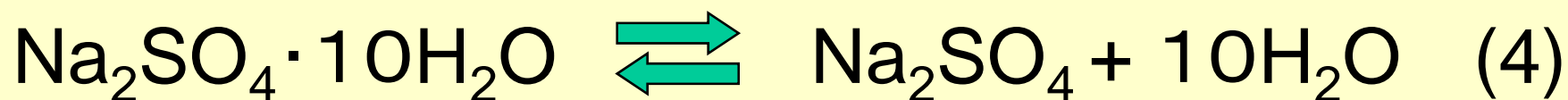
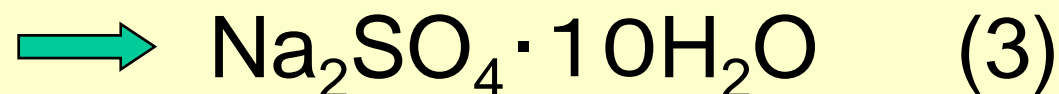
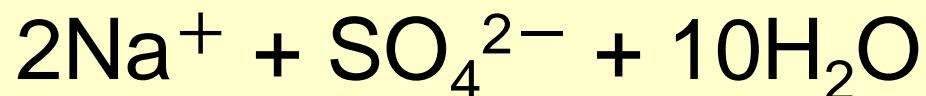


エトリンガイトの生成



劣化に関わる化学反応

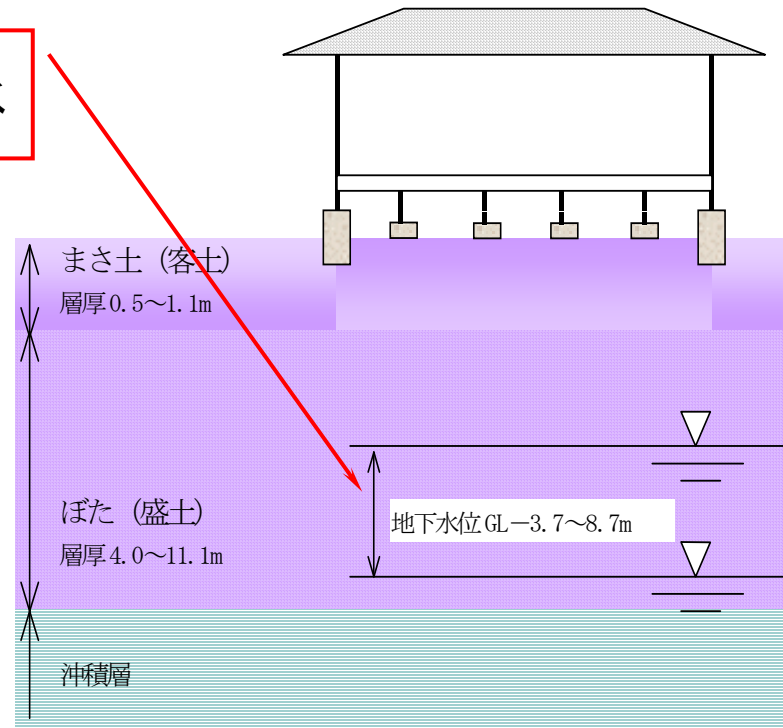
硫酸ナトリウムの生成



豊浜団地・地下水の水質分析

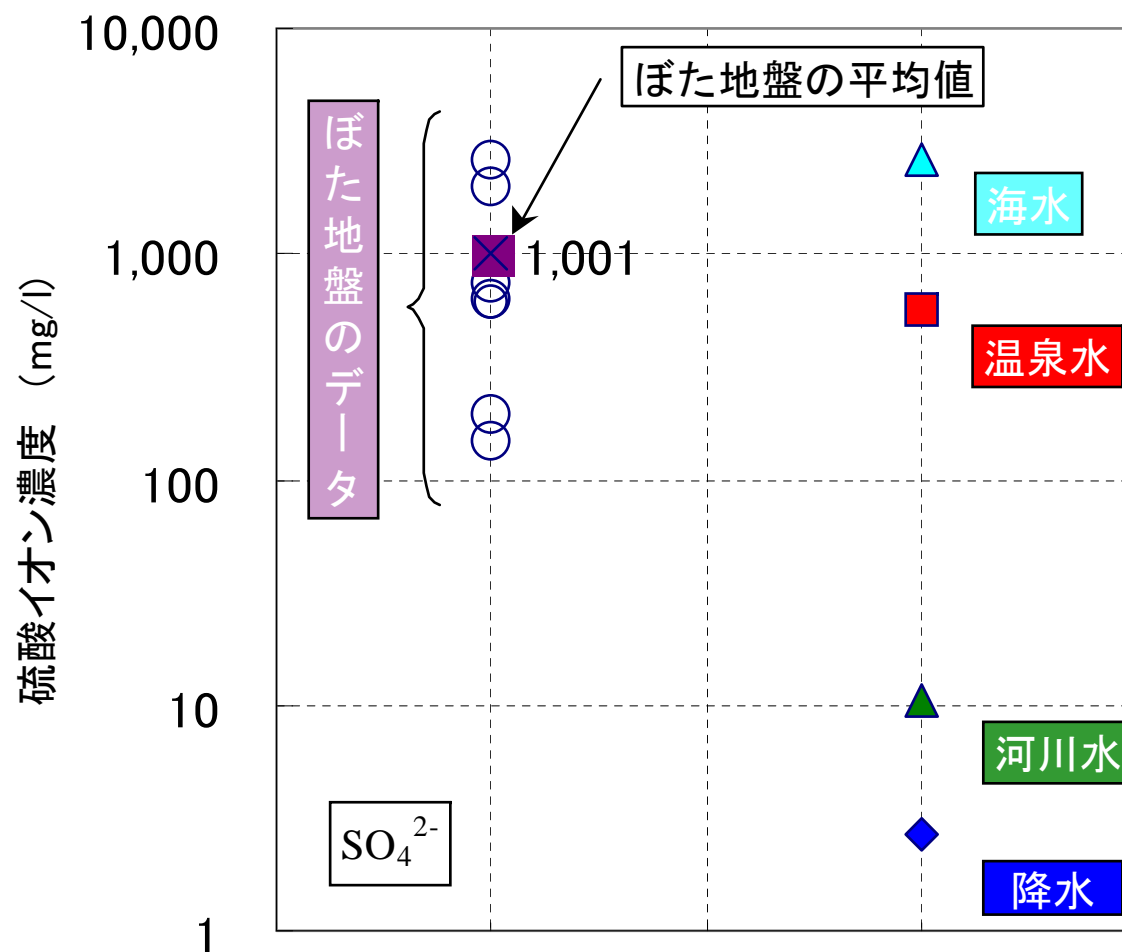
- ボーリング孔内水

庭下の4~9m間に確認された地下水



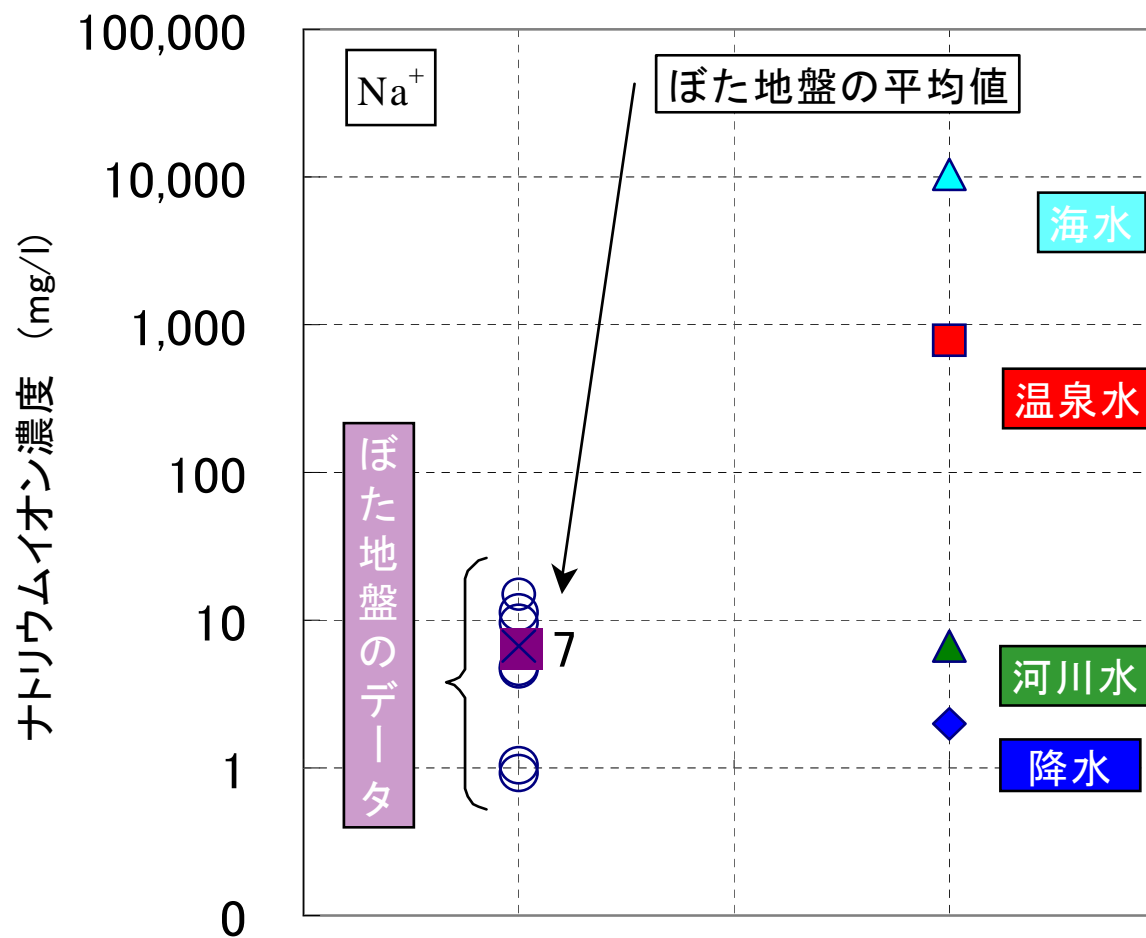
豊浜団地・地下水の水質分析

硫酸イオン



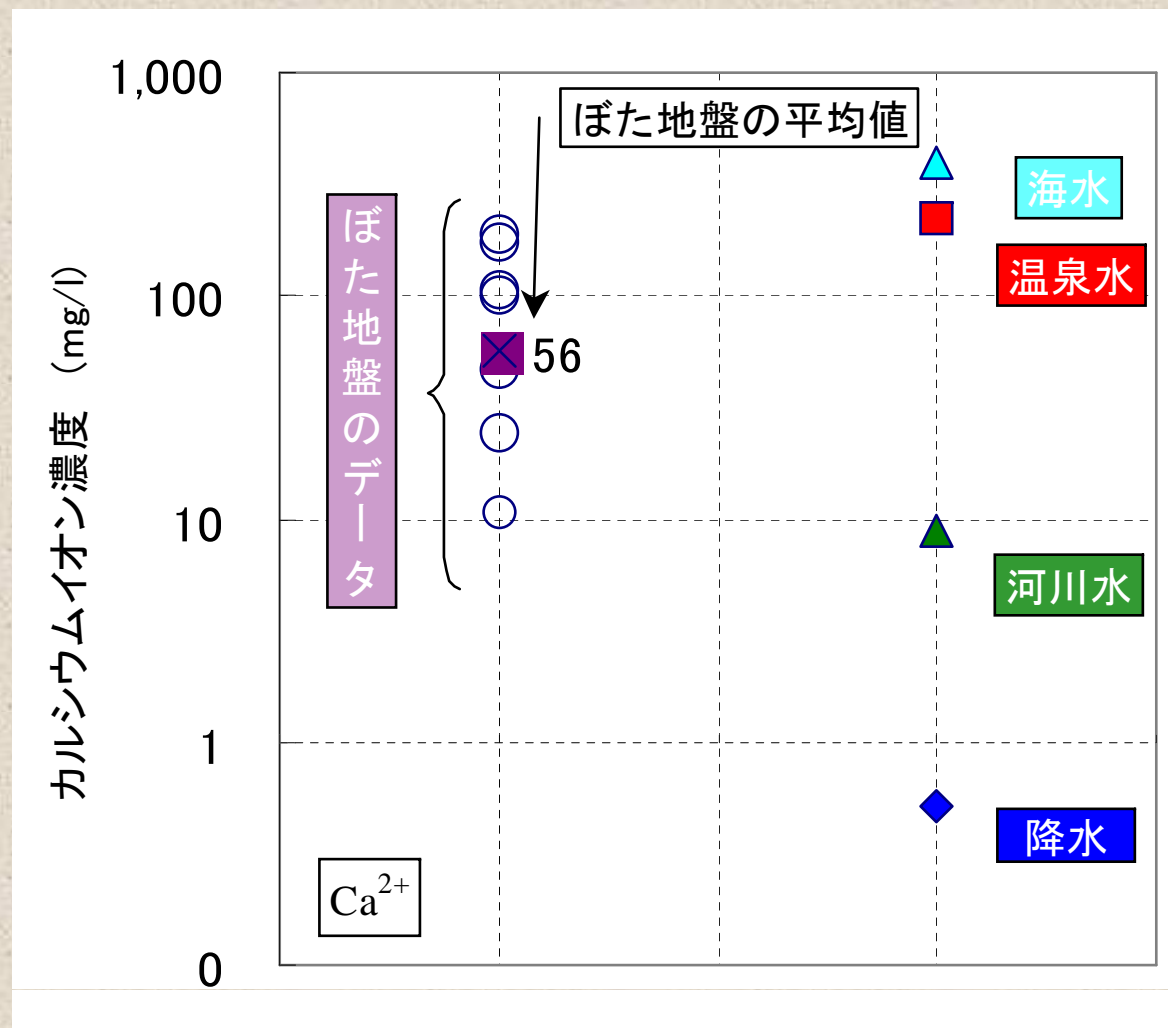
豊浜団地・地下水の水質分析

Na⁺イオン



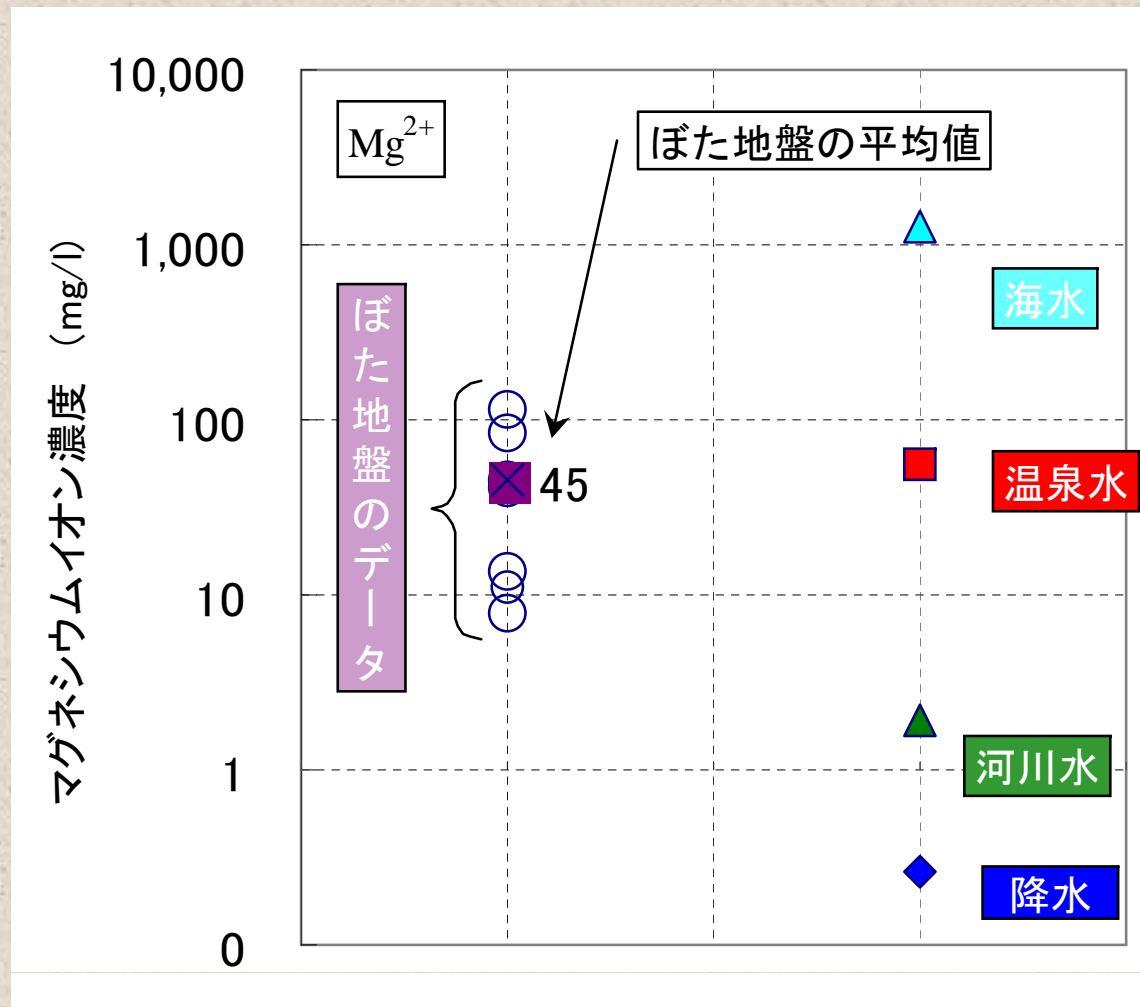
豊浜団地・地下水の水質分析

Ca²⁺イオン



豊浜団地・地下水の水質分析

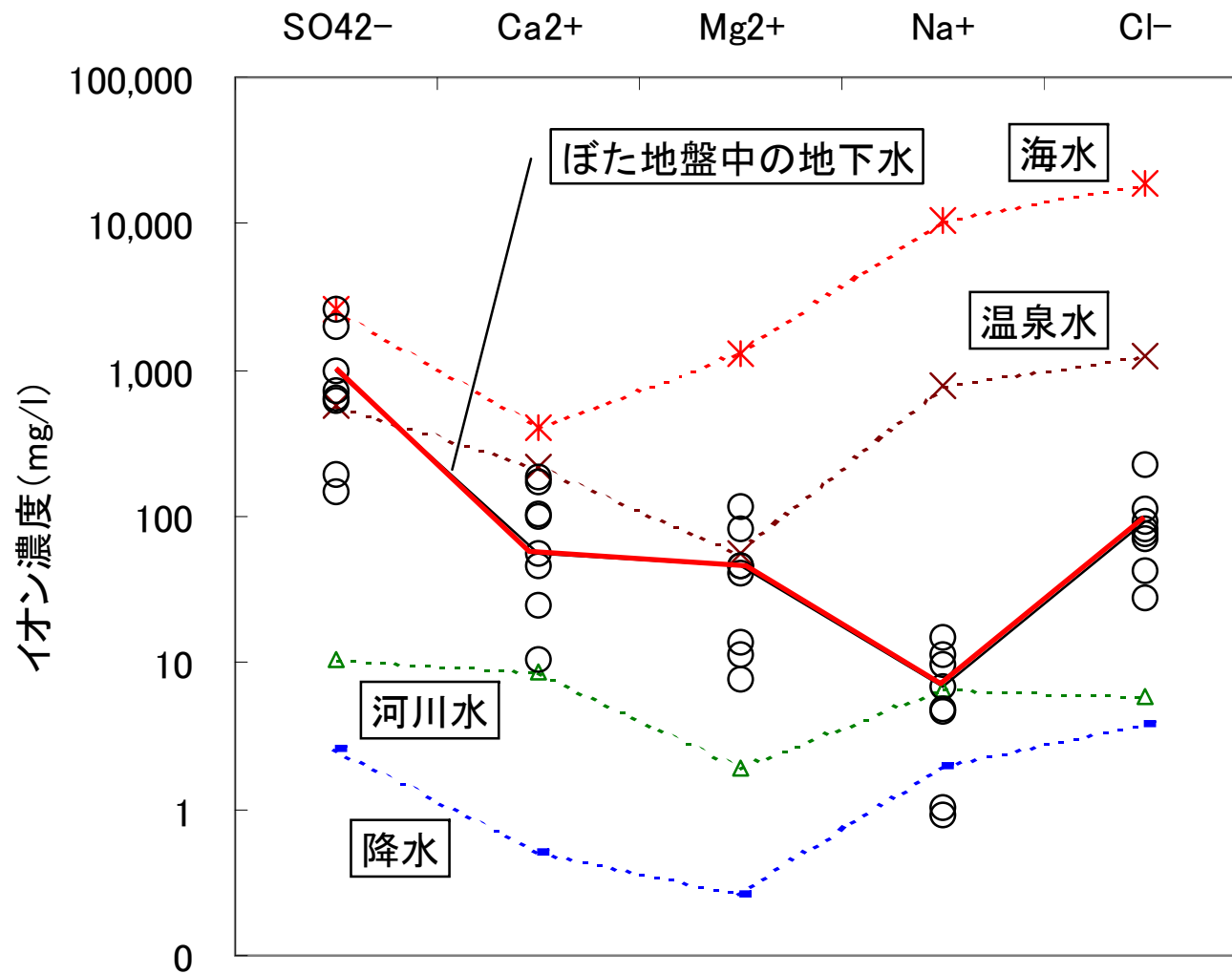
- Mg²⁺イオン



地下水の水質分析結果および参考値一覧

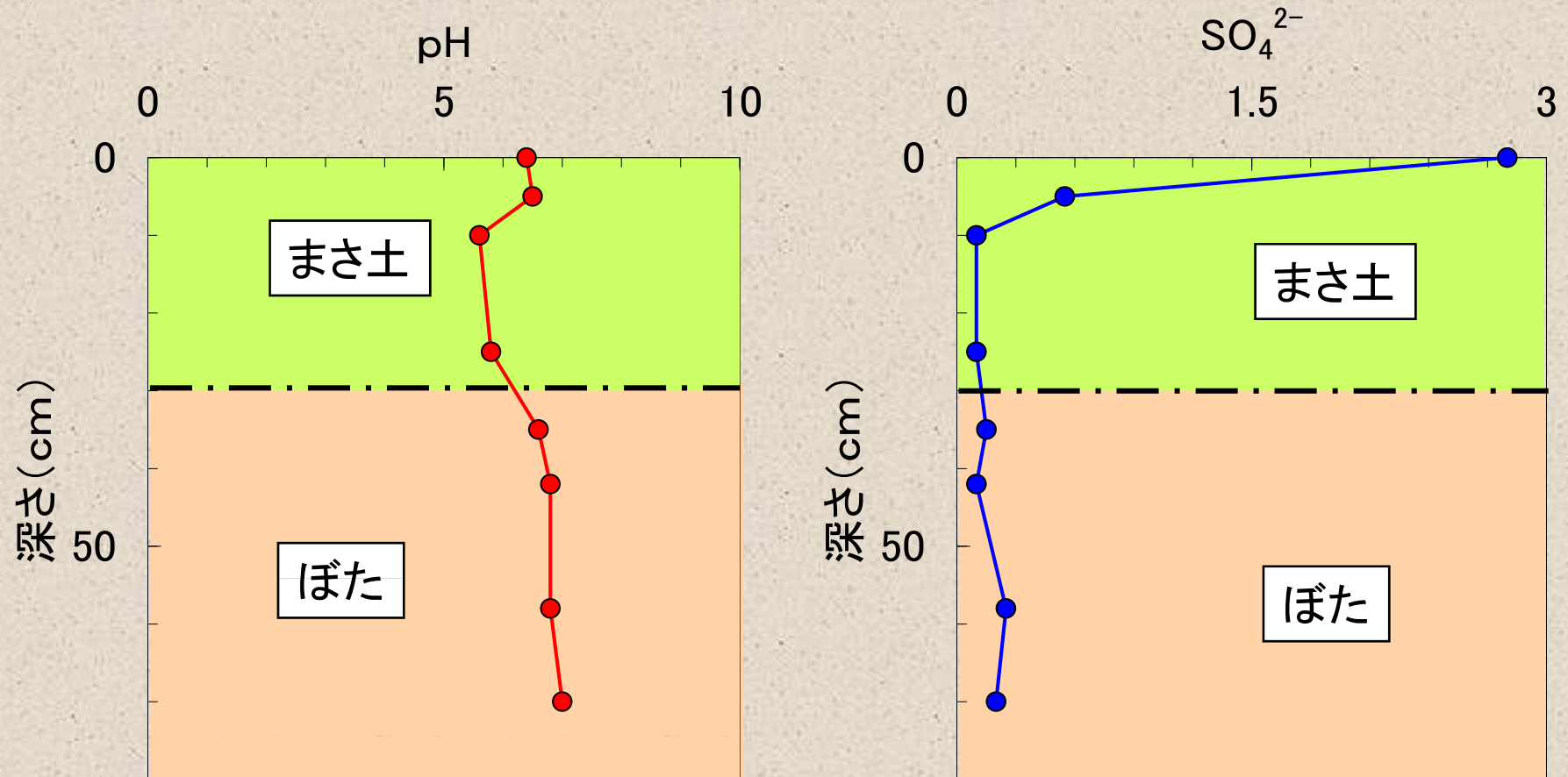
分析項目		pH	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻
mg/kg = ppm = 10 ⁻⁴ % (pH以外の単位)		3.2~7.3	149~ 2,653	11~ 188	14~ 115	91~ 150	28~230
参考値 ※	日本における 降水	4.7	2.64	0.52	0.26	1.97	3.82
	日本における 河川水	—	10.6	8.8	1.9	6.7	5.8
	日本における 温泉水	—	570	221	56	770	1,250
	塩素量19‰の 海水	—	2,649	400	1,272	10,556	18,980

※: 半谷高久・小倉紀雄共著「第3版 水質調査法1995)」による平均組成



ぼた地盤内地下水の各イオン濃度

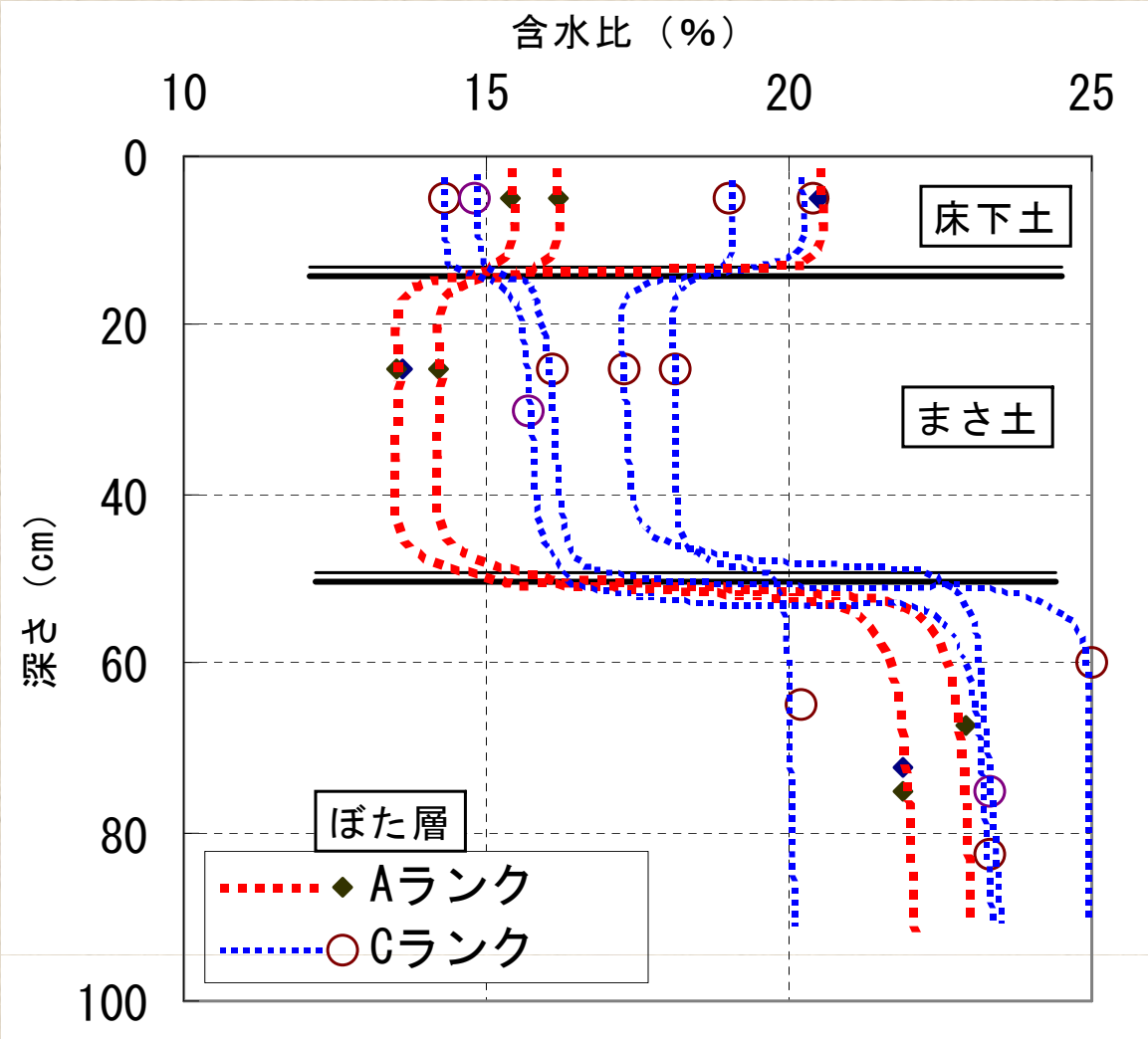
糟屋郡百田邸・床下土の分析



硫酸イオン濃度およびpHの深さ方向分布

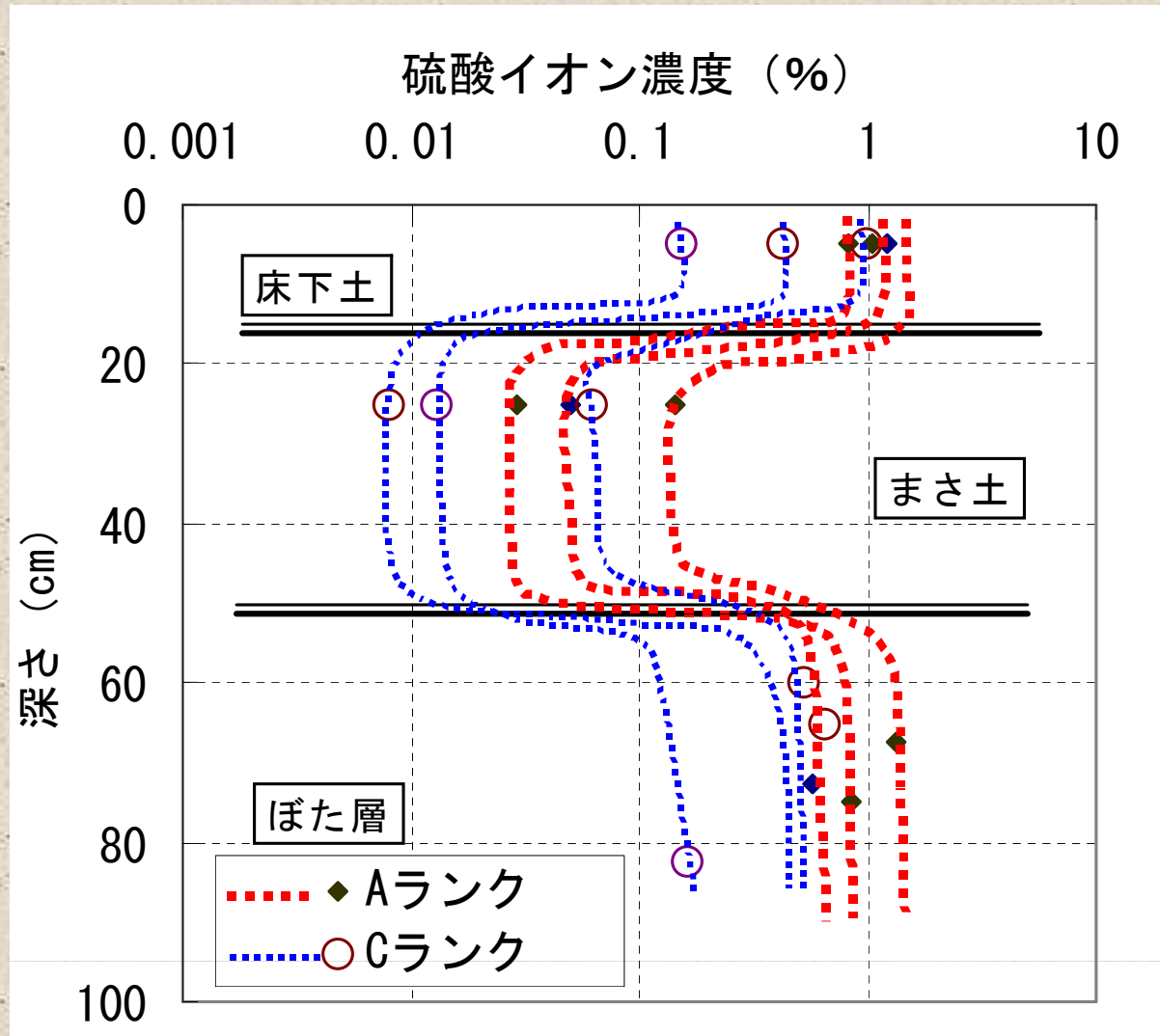
豊浜団地・床下土の分析

- 含水比



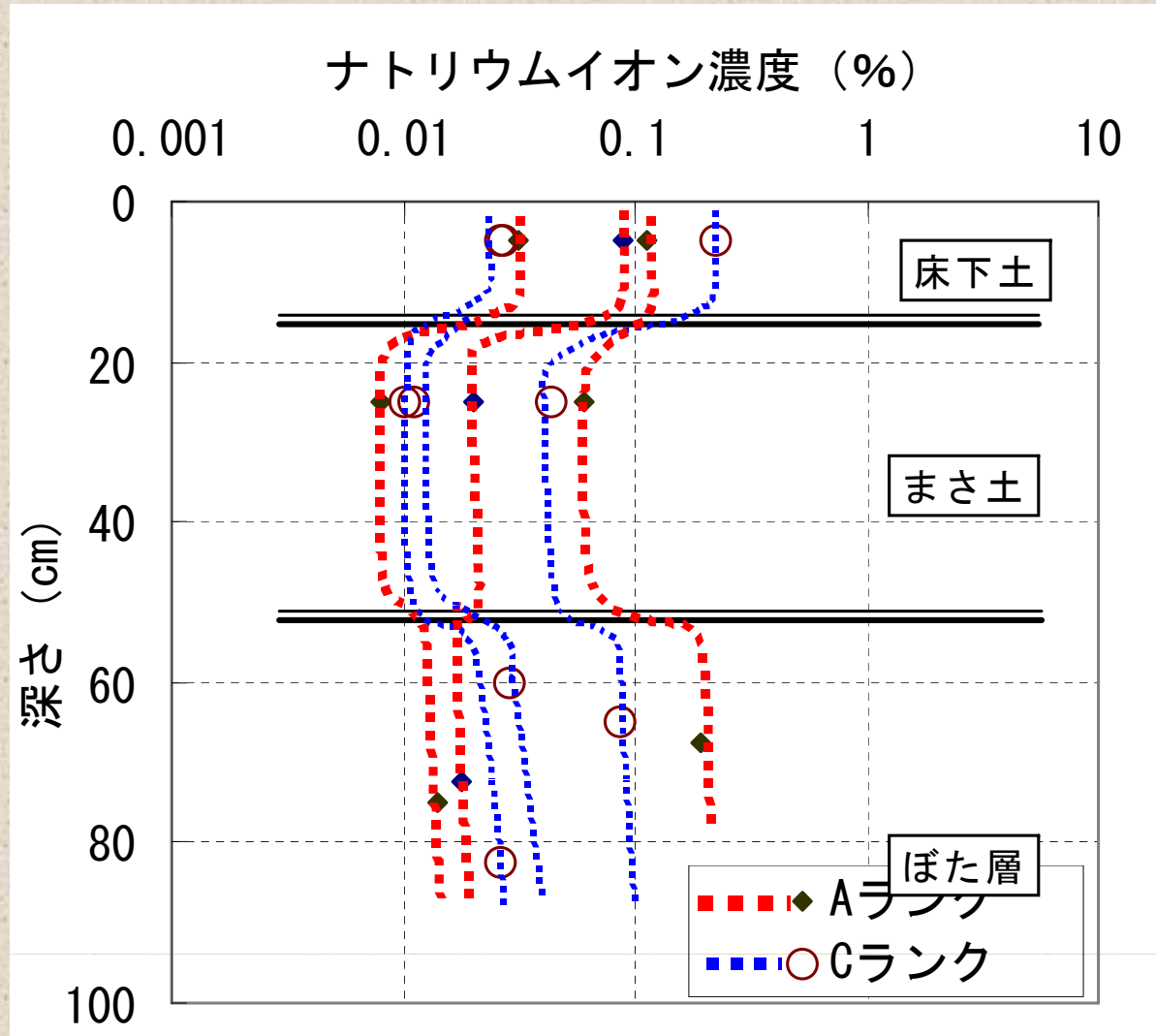
豊浜団地・床下土の分析

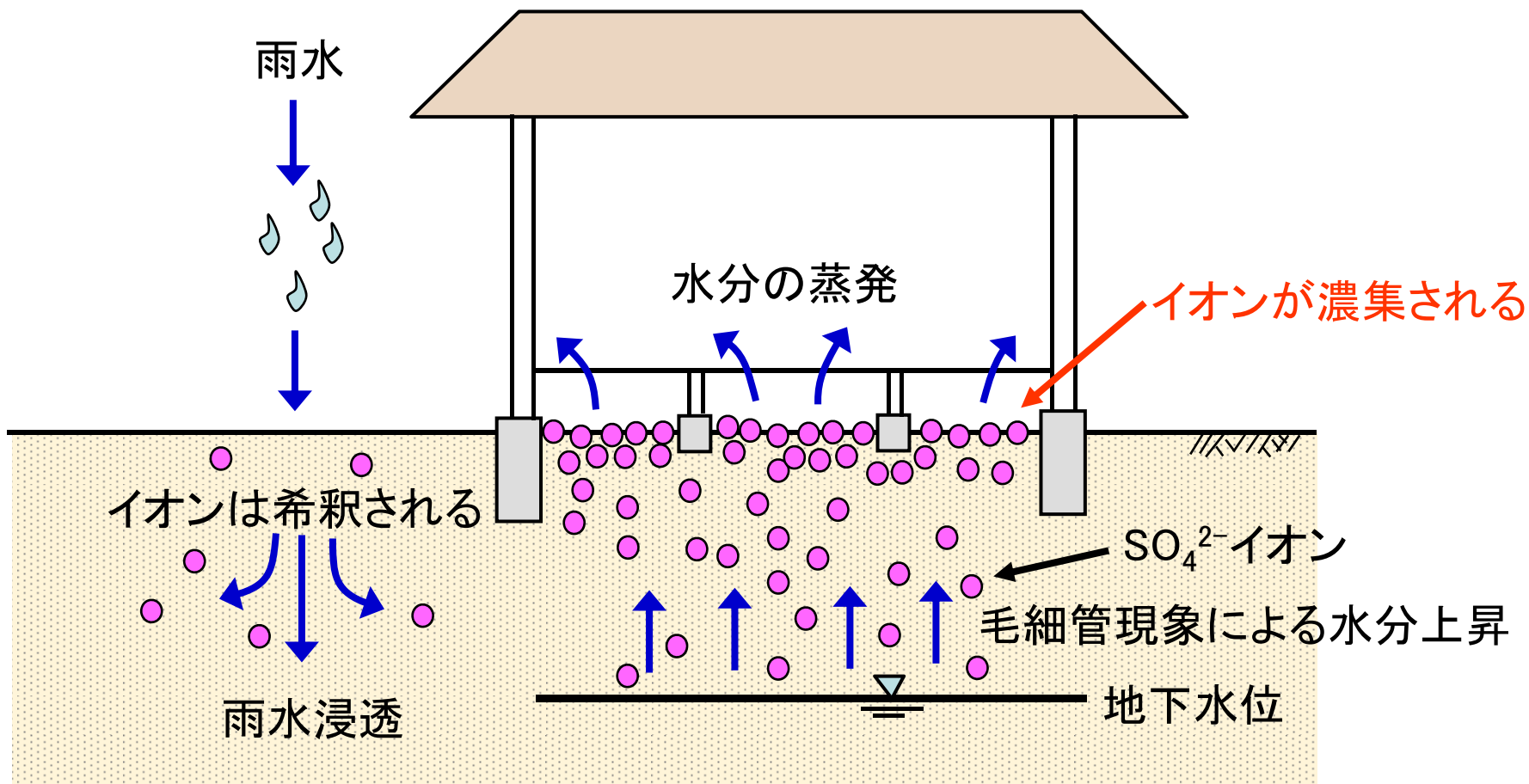
- SO_4^{4-} 濃度



豊浜団地・床下土の分析

- Na^+ 濃度





イオンの濃集現象の概要

温泉土壤のイオン濃縮例(明ばん温泉)

試験名	項目	pH	含水比 (%)	硫酸イオン (mg/kg)	Na ⁺ (mg/kg)
明ばん温泉 土壤	表土	1.7	53.7	78,400	187
	-10cm	2.3	70.6	7,870	19
	-20cm	2.6	72.7	3,310	7
	-30cm	2.5	80.6	3,730	6

明晩温泉暴露試験場全景



温泉余土地帯で10年間にわたって行われた
コンクリートの腐食試験状況



土壤暴露試験
5配合 2年材令
(水洗前)



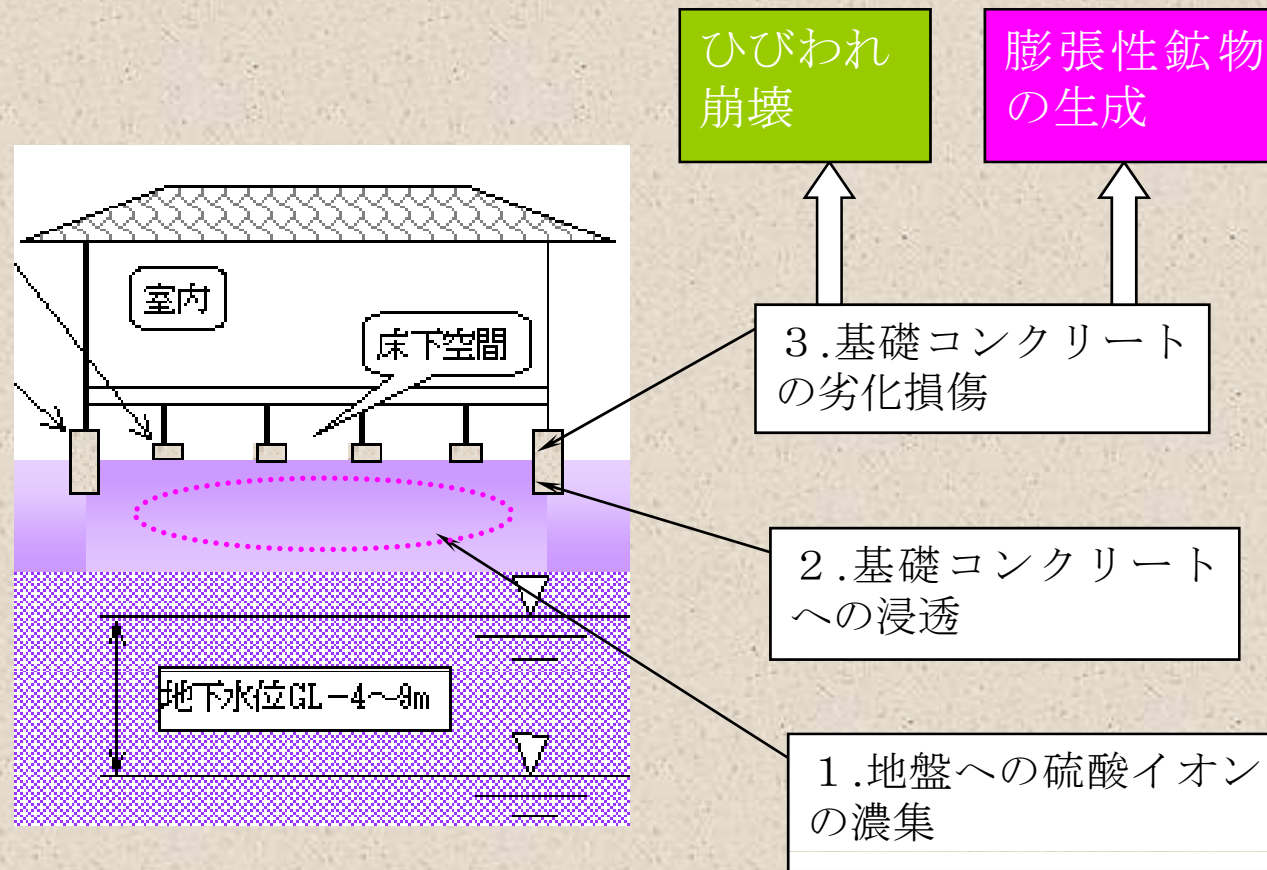
土壤暴露試験

5配合 1年材令

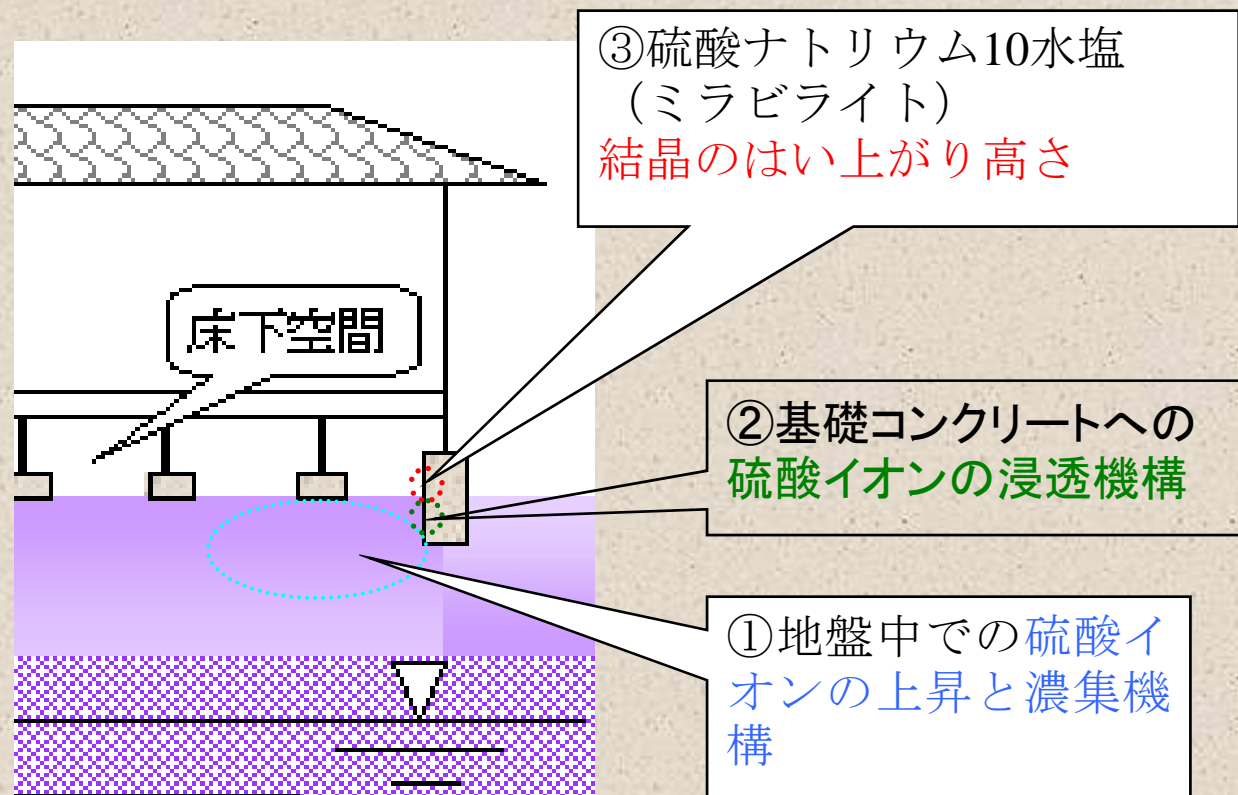
(水洗後)



硫酸性地盤における コンクリートの劣化機構



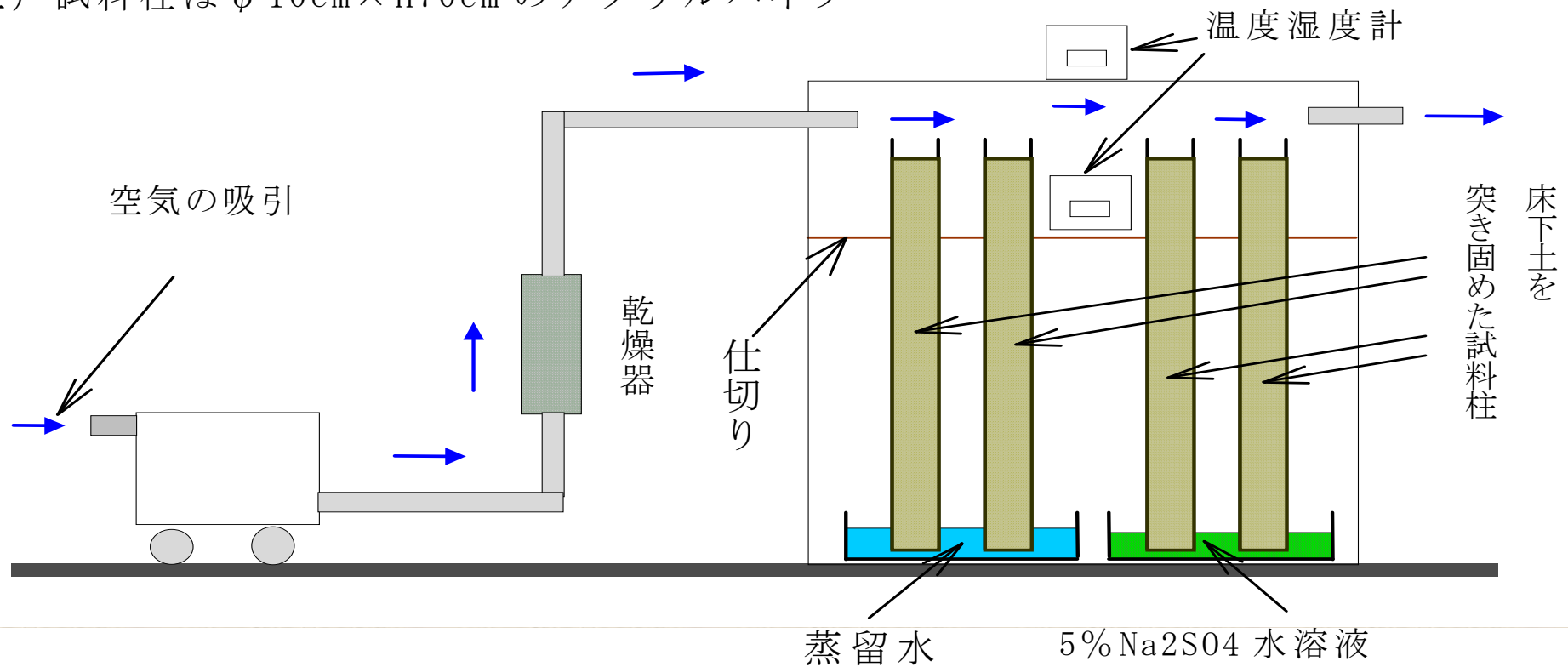
床下土イオン濃集とコンクリートの供試体を用いた検証実験



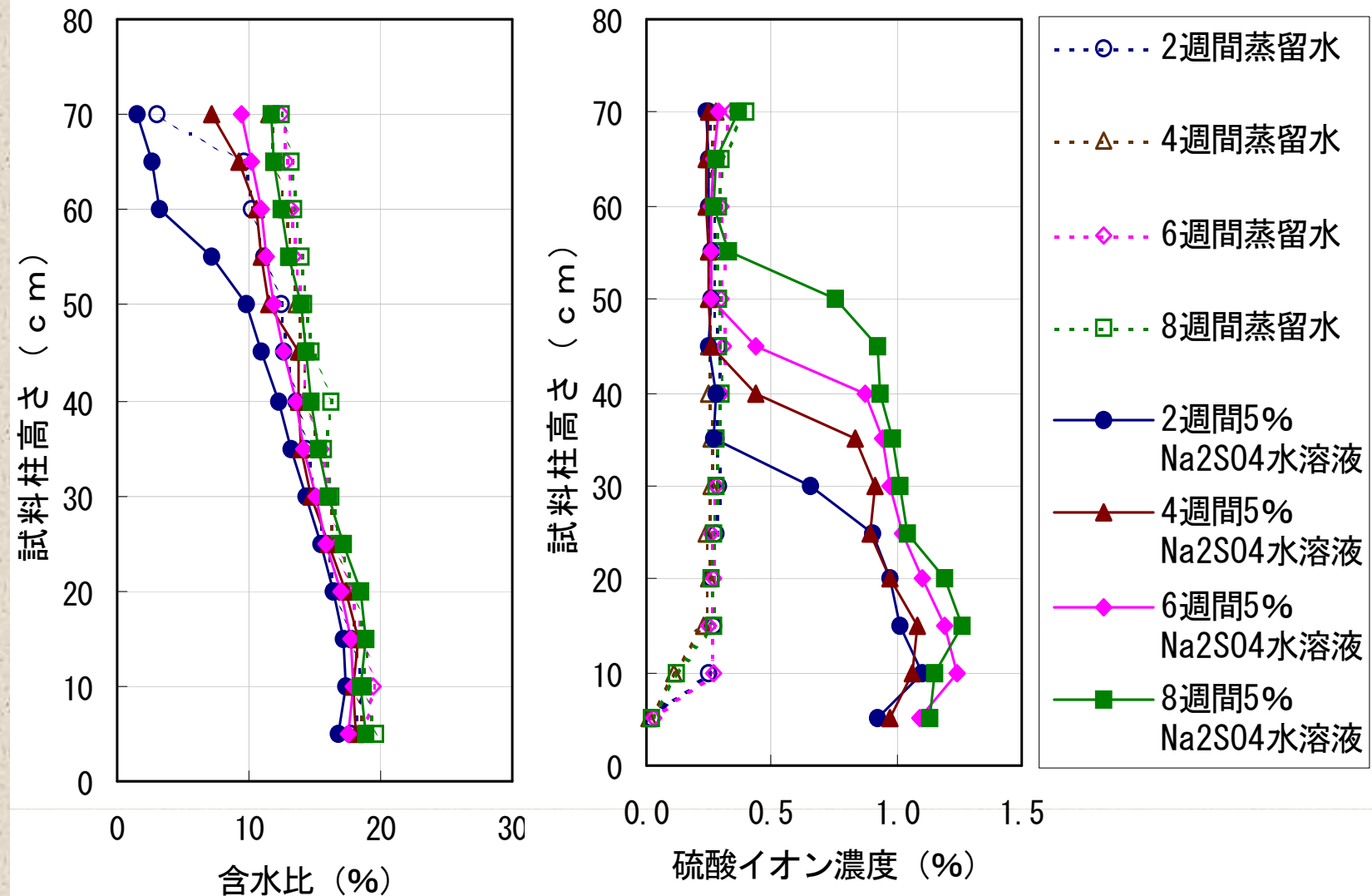
濃集機構の検証

- 床下土を用いた実験

注) 試料柱は $\phi 10\text{cm} \times \text{H}70\text{cm}$ のアクリルパイプ

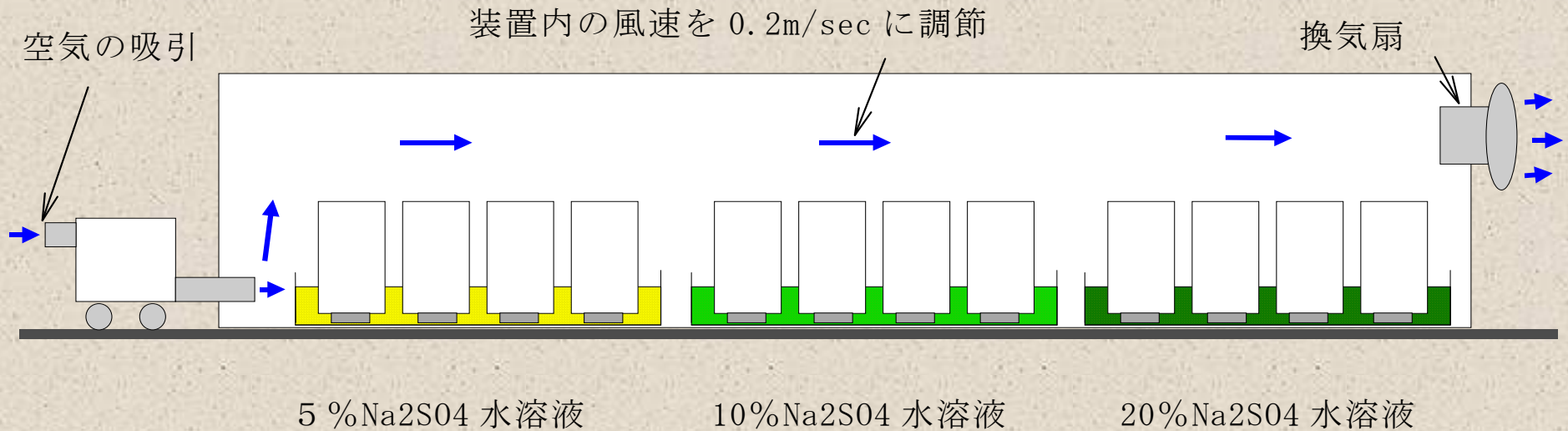


実験の結果

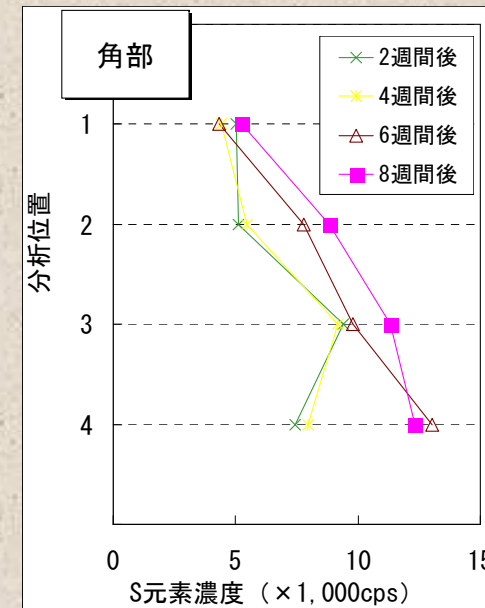
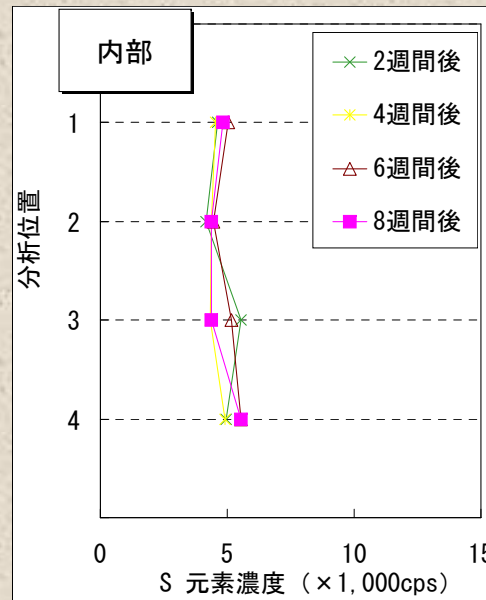
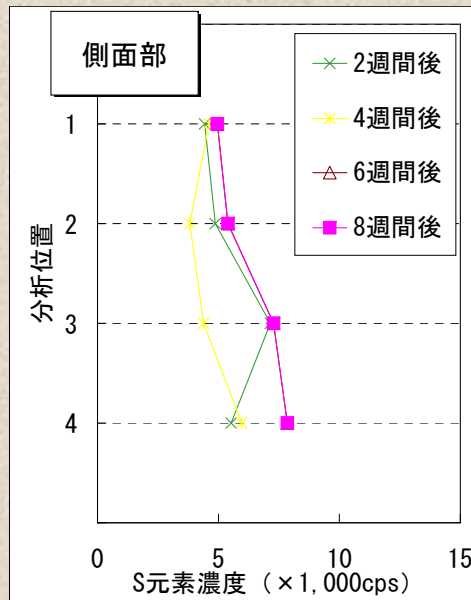


浸漬実験による検証

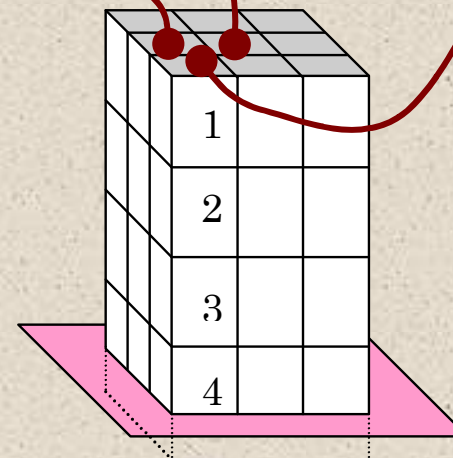
- コンクリート供試体を用いた実験



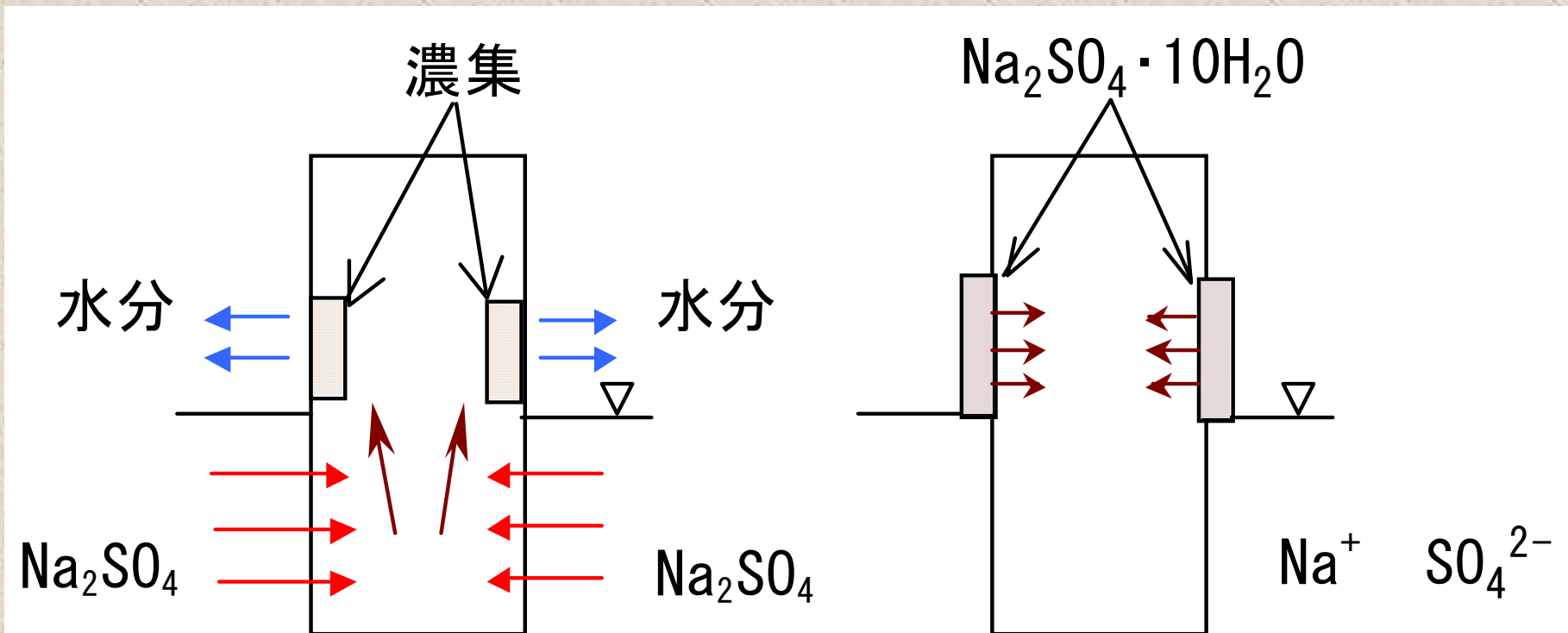
浸漬実験の結果



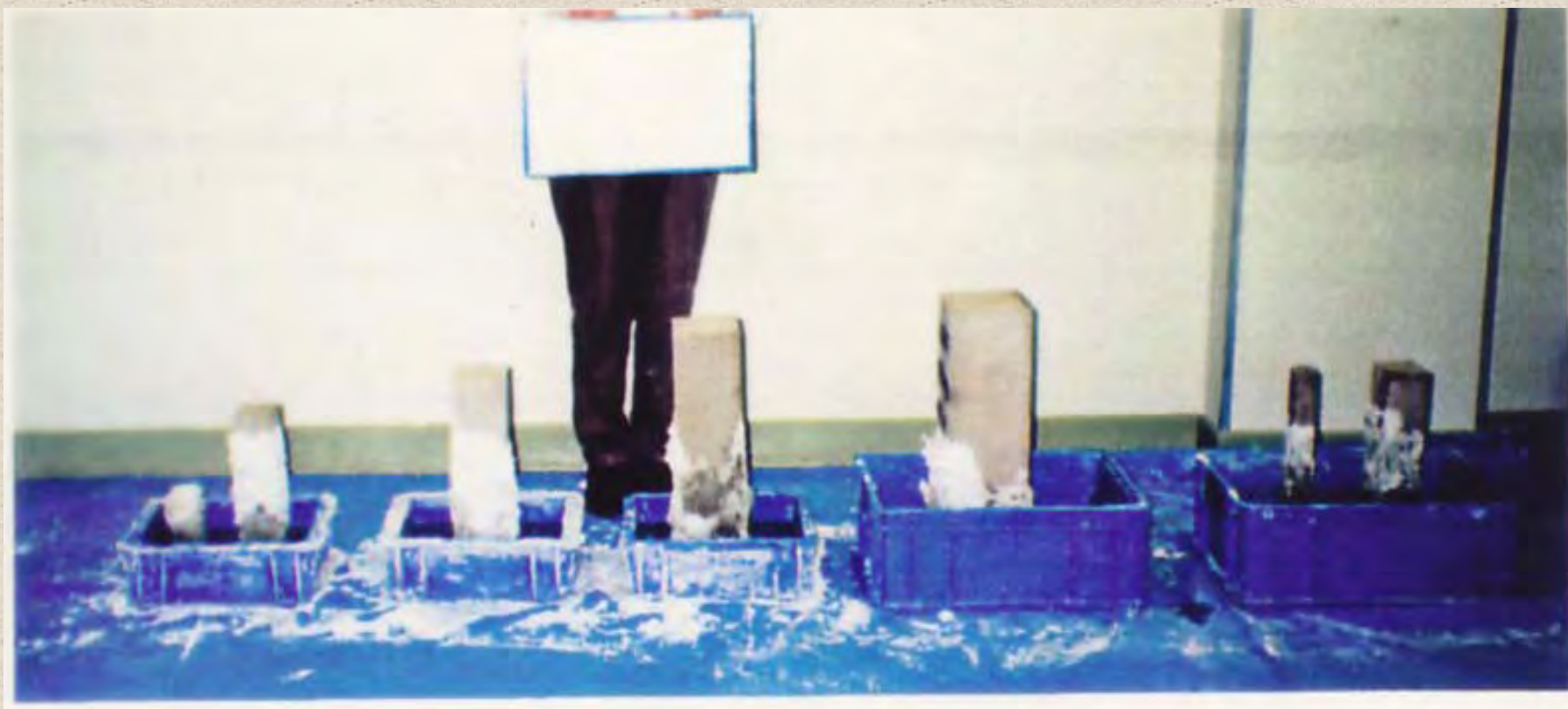
- ① 10×10×20cm の角柱供試体を 5%硫酸ナトリウム水溶液に下部 2.5cm 浸漬
- ② 浸漬 2~8 週間後にとりだす
- ③ 右図の様に切断後、粉碎
- ④ 蛍光 X 線分析



結晶のはい上がり高さの検討



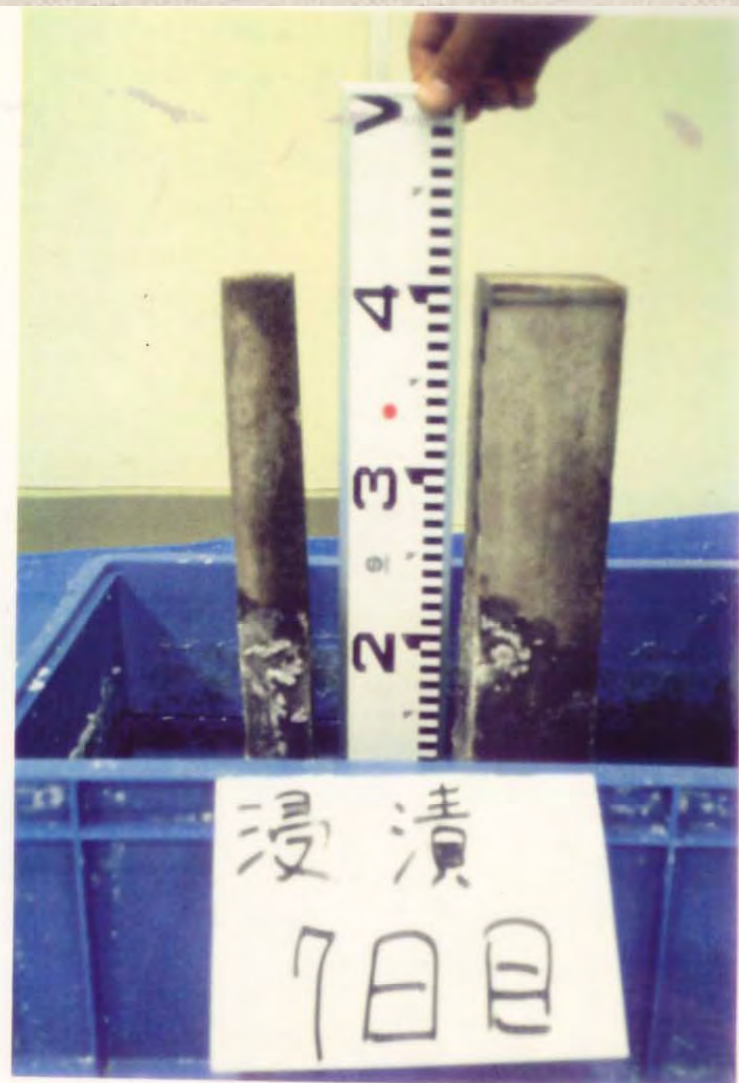
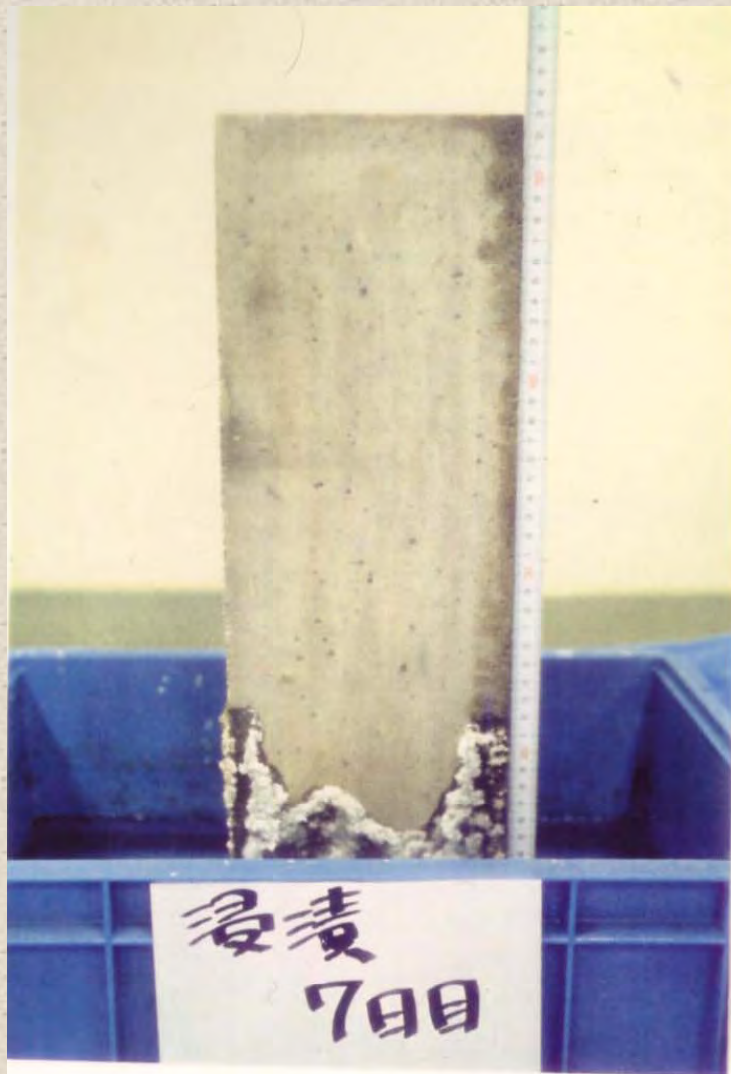
10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況



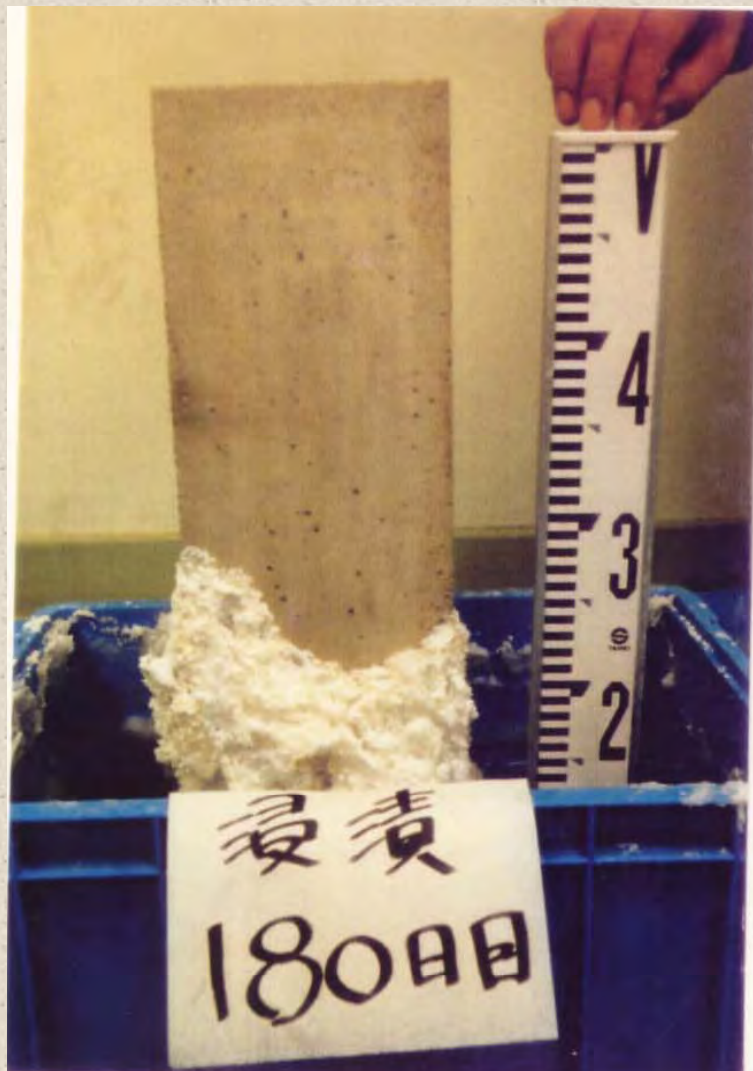
10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況



10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況

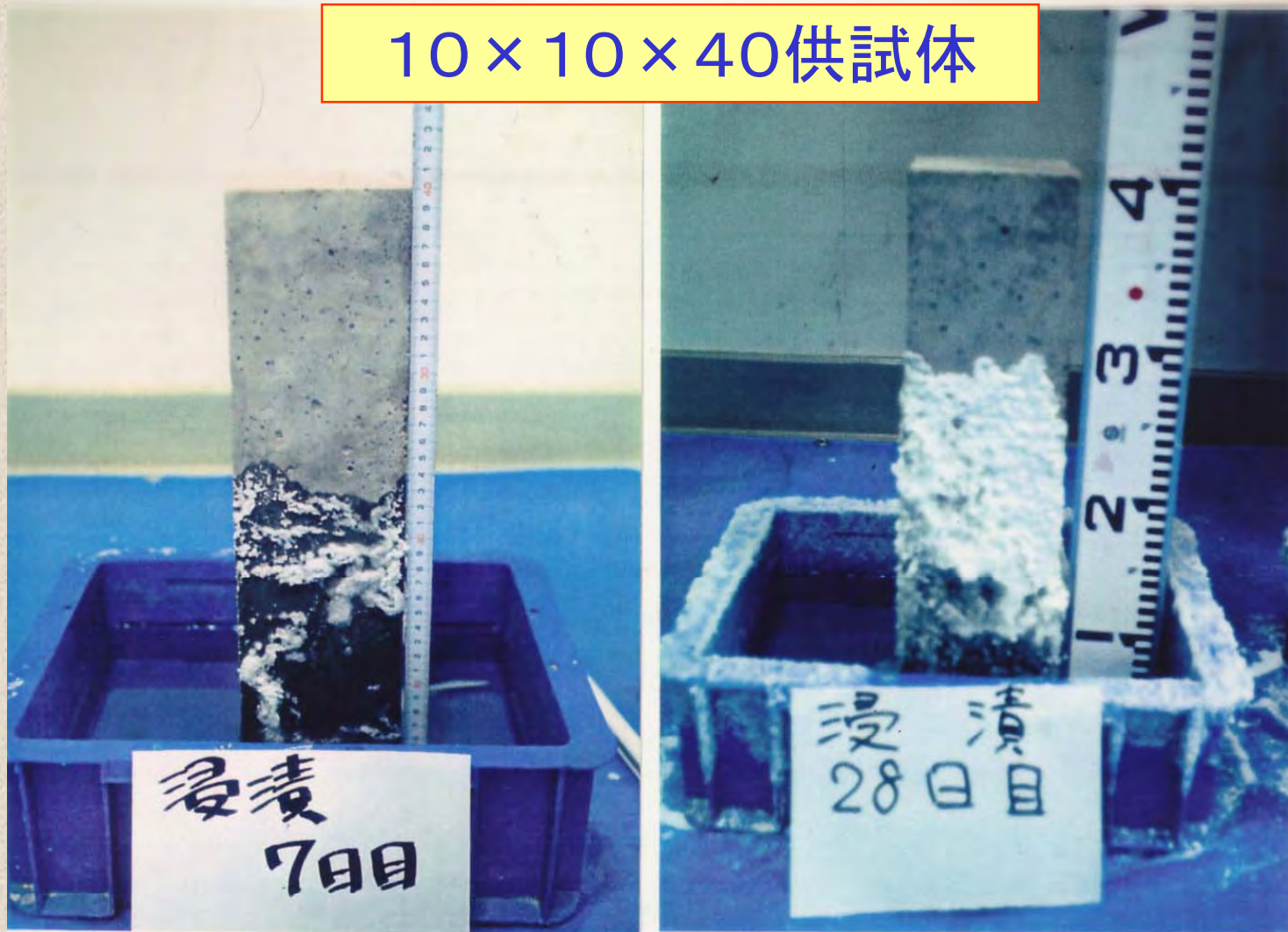


10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況



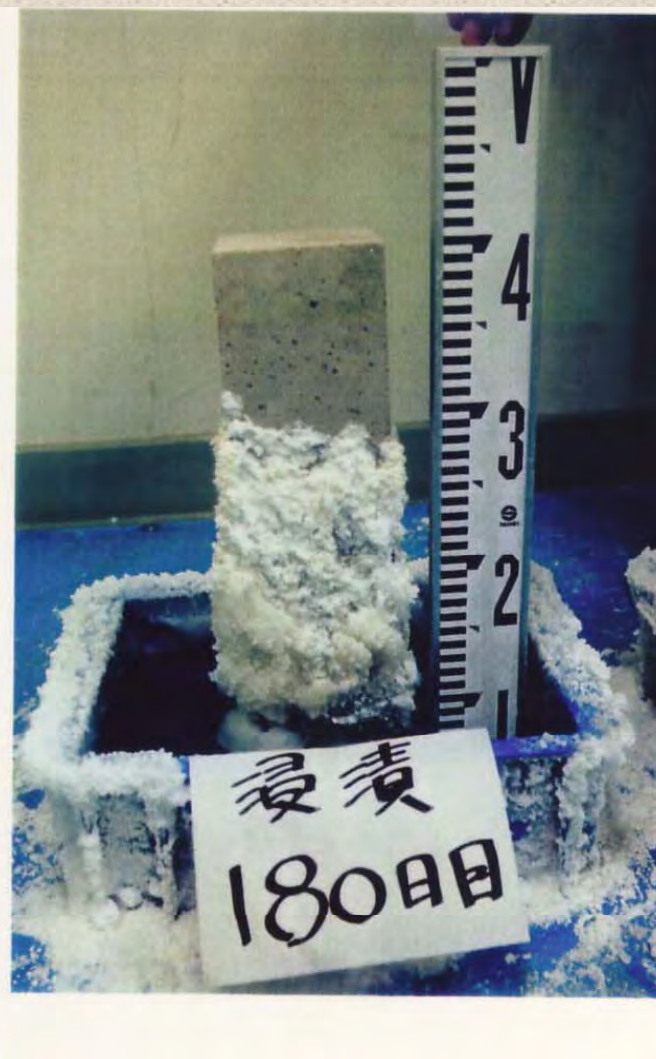
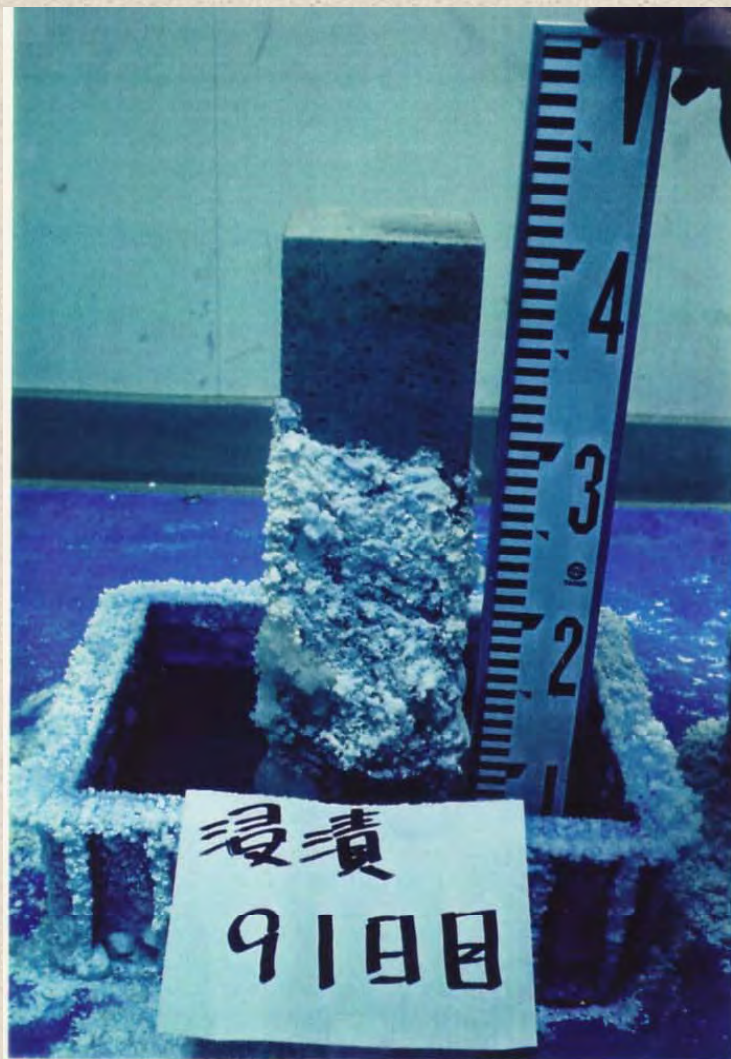
10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況

10×10×40供試体



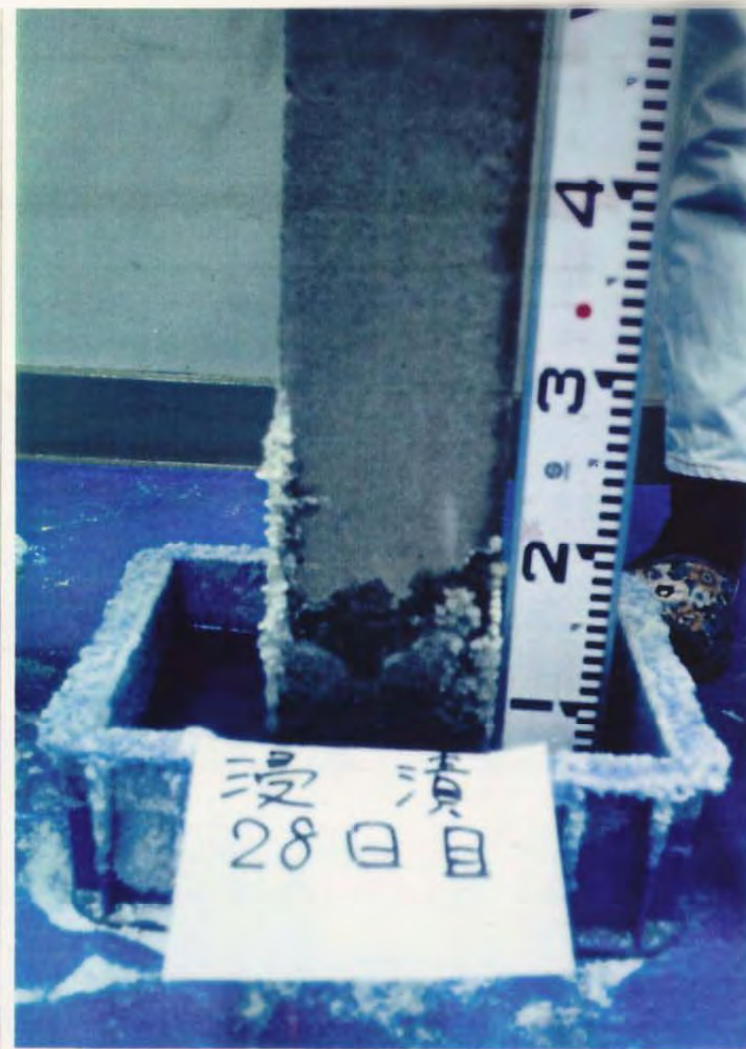
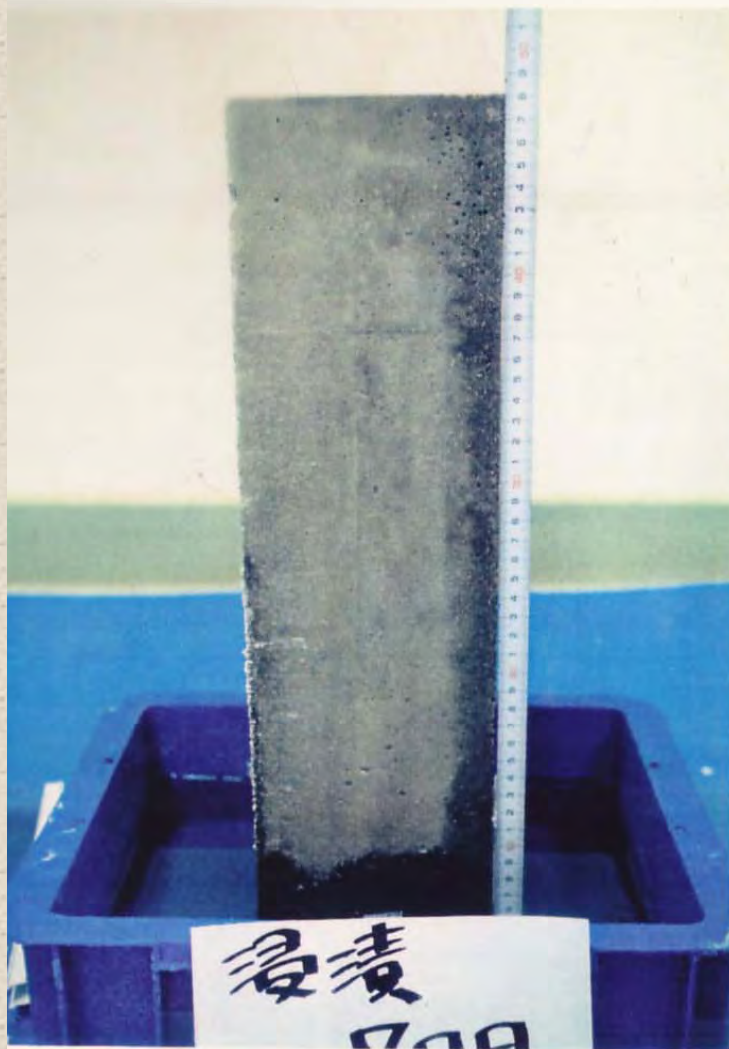
10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況

10×10×40供試体



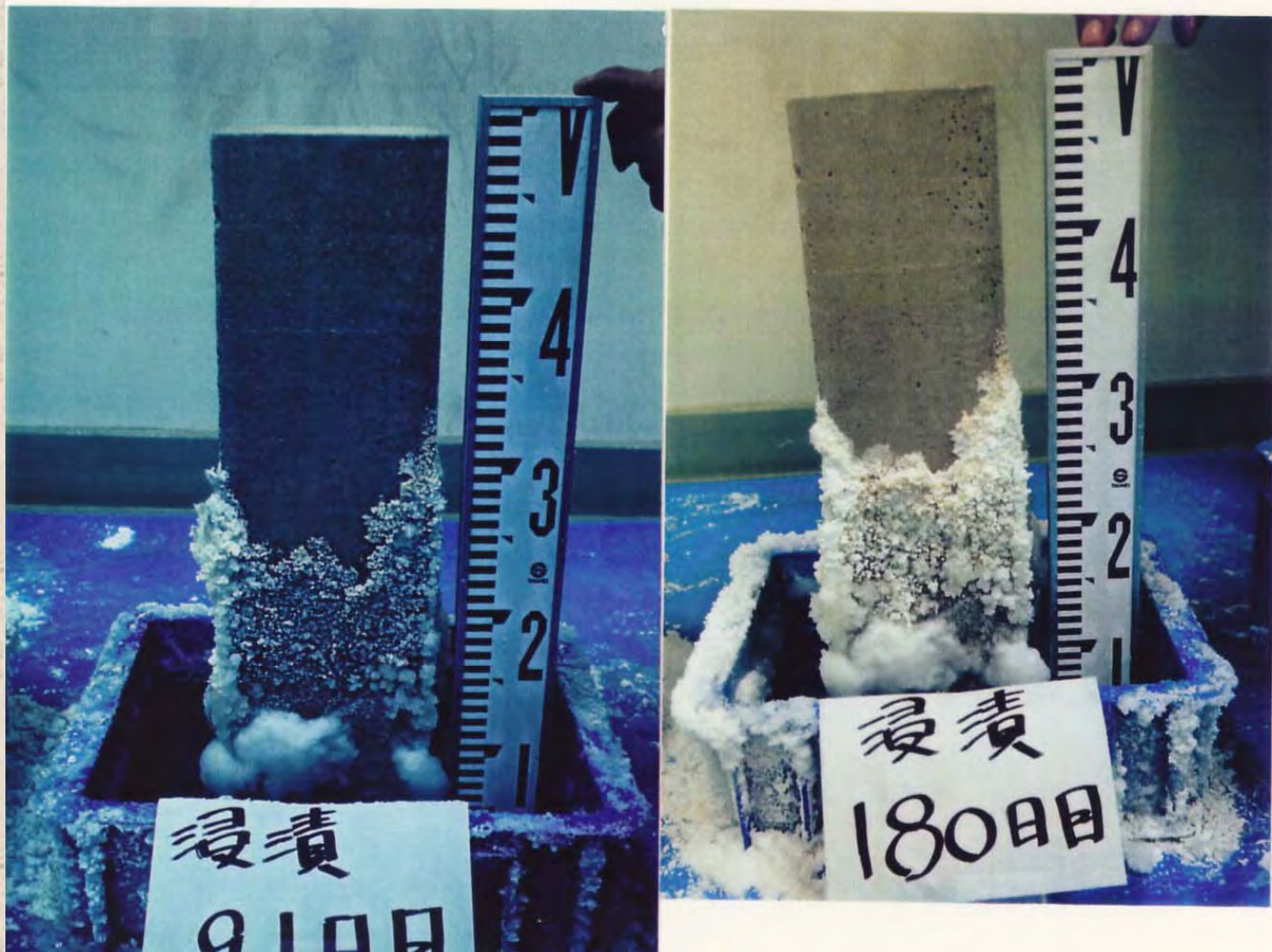
10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況

12.5×12.5×48cm 供試体



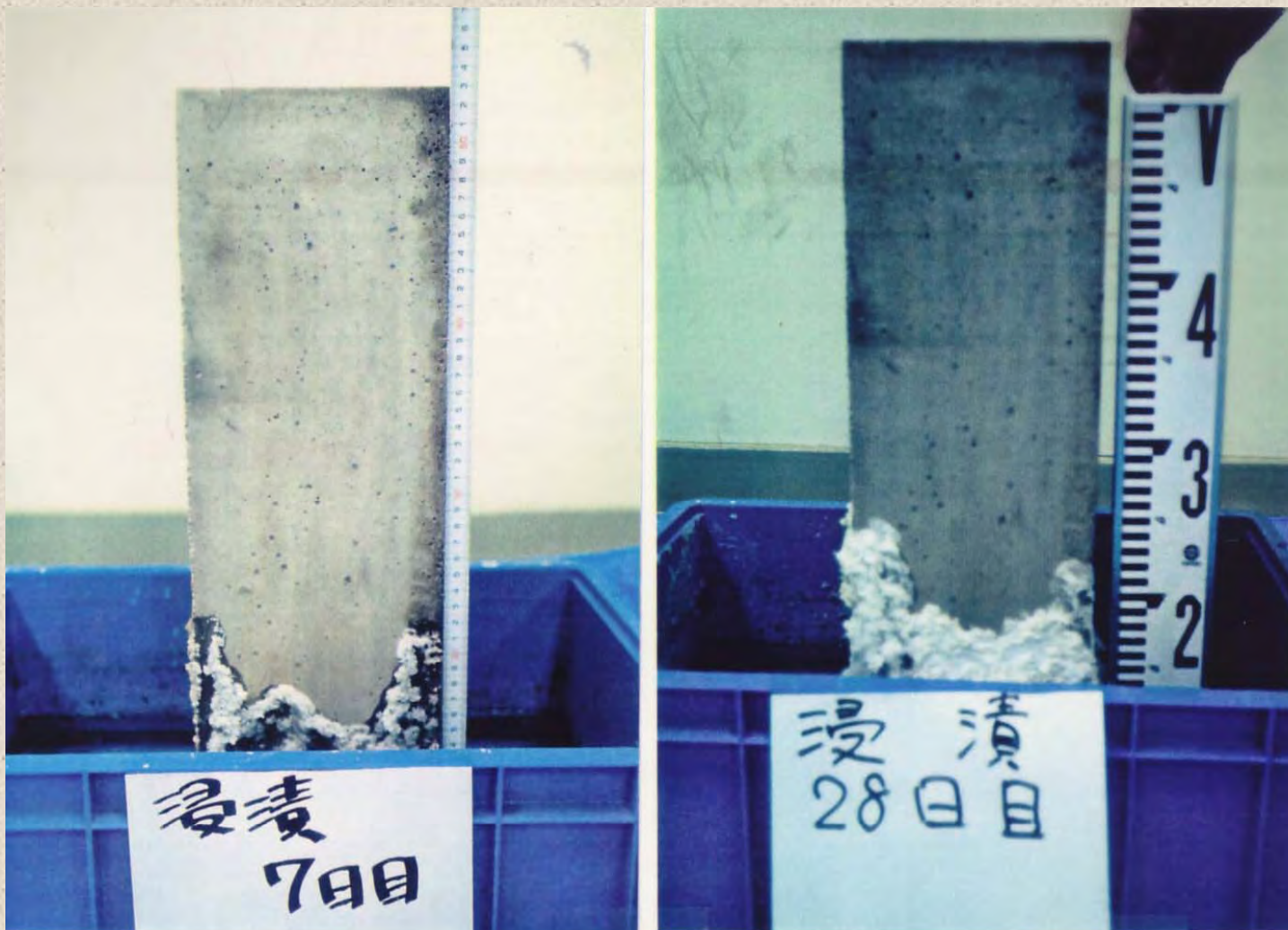
10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況

12.5×12.5×48cm 供試体



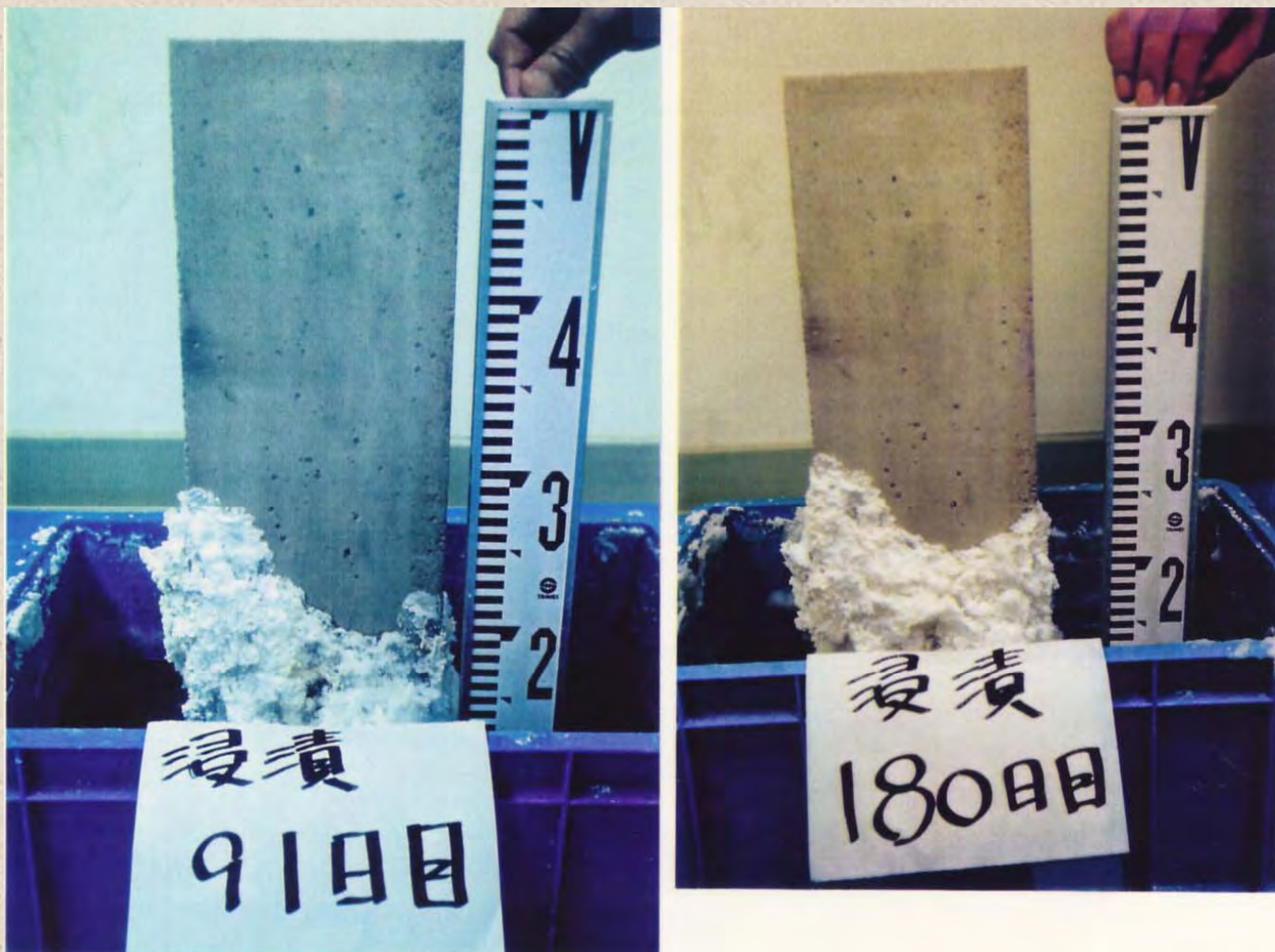
10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況

15×15×48cm供試体

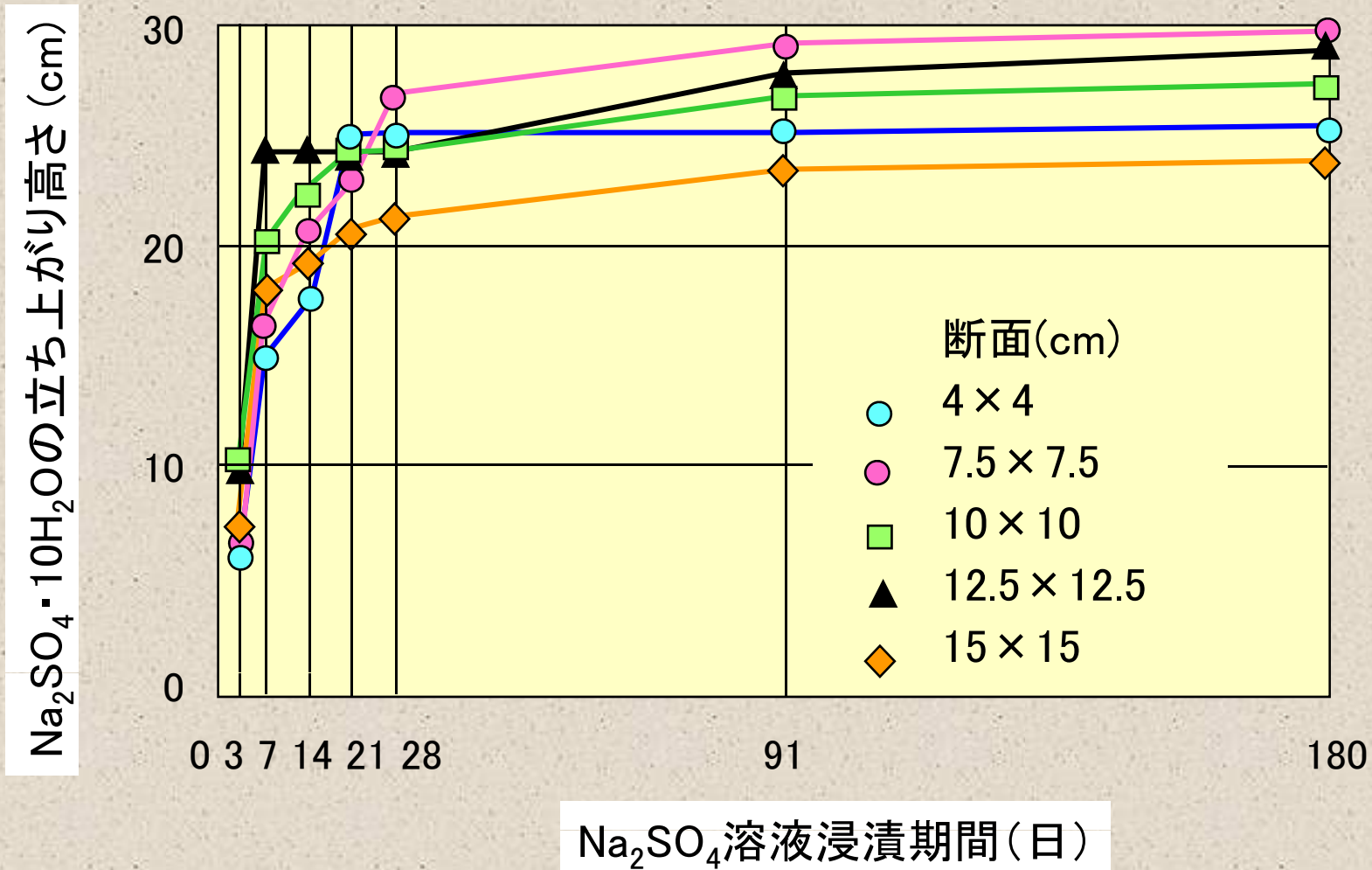


10%Na₂SO₄溶液中による浸漬実験状況

15 × 15 × 48cm供試体



Na₂SO₄·10H₂Oの立ち上がり高さの変化



化学的侵食の対象

- 温泉水・有機酸・動植物油による劣化
- 化学工場や下水道関連施設における酸性劣化ならびに硫酸塩劣化
- 酸性雨や酸性霧
- 酸性土壌や硫酸塩土壌の作用による劣化
- 凍結防止剤に含まれる塩分のコンクリート中への浸透に伴う鉄筋腐食 ← 塩害維持管理標準を参照
- コンクリート中のアルカリ分の溶出に伴う中性化

コンクリートの耐化学的侵食性の照査

- ・コンクリート供試体による促進試験，曝露試験による確認を原則とする。
- ・標準の材料を使用し，水セメント比を下表の値以下とすることで，耐化学的侵食性の照査に代えて良い。

耐化学的侵食性を確保するための最大水セメント比

劣化環境	最大水セメント比(%)
SO ₄ として0.2%以上の硫酸塩を含む土や水に接する場合	50
融氷剤を用いる場合	45



塩化ビニールパイプを埋設型枠とした束石の例



塩化ビニールシートの敷設中（濃集現象の制御）



塩化ビニールシート敷設上に床版の配筋



塩化ビニールシート上に基礎床版コンクリートを打設

コンクリートを
劣化させる硫酸イオンを
含む地盤について

硫酸塩を含む地盤について

硫酸塩劣化	A) 化学的劣化	A) -a) エトリンガイトの生成による劣化	外来硫酸塩による場合
			内在硫酸塩による場合
		A) -b) 二水石膏の生成による劣化	
		A) -c) マグネシウムイオンによる劣化	
		B) ソーマサイトの生成による劣化	
	C) 物理的劣化		
硫酸劣化			

硫酸塩の一般的性質

可溶性塩類の溶解度

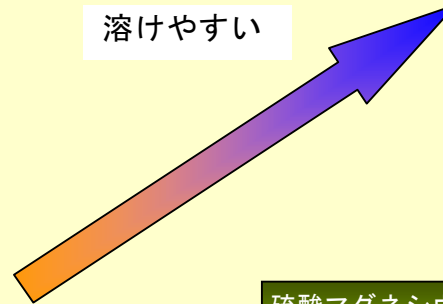
左側ほど
固定化する

右側ほど
溶解する

単位 : (g / 100g · 水 20°C)



溶けやすい



塩化カルシウム
 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (42.7)

塩化マグネシウム
 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (35.3)

塩化ナトリウム
 NaCl (26.4)

硫酸マグネシウム
 MgSO_4 (25.2)

炭酸ナトリウム
 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (18.1)

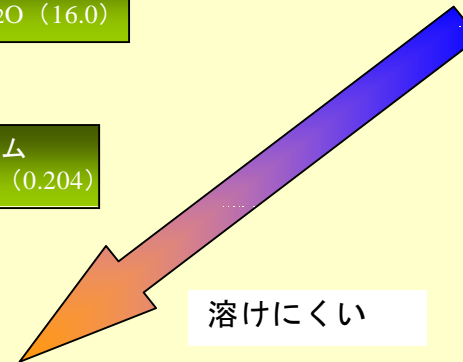
硫酸ナトリウム
 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (16.0)

硫酸カルシウム
 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.204)

炭酸カルシウム
 CaCO_3 (0.0065)

炭酸マグネシウム
 MgCO_3 (0.0000)

溶けにくい



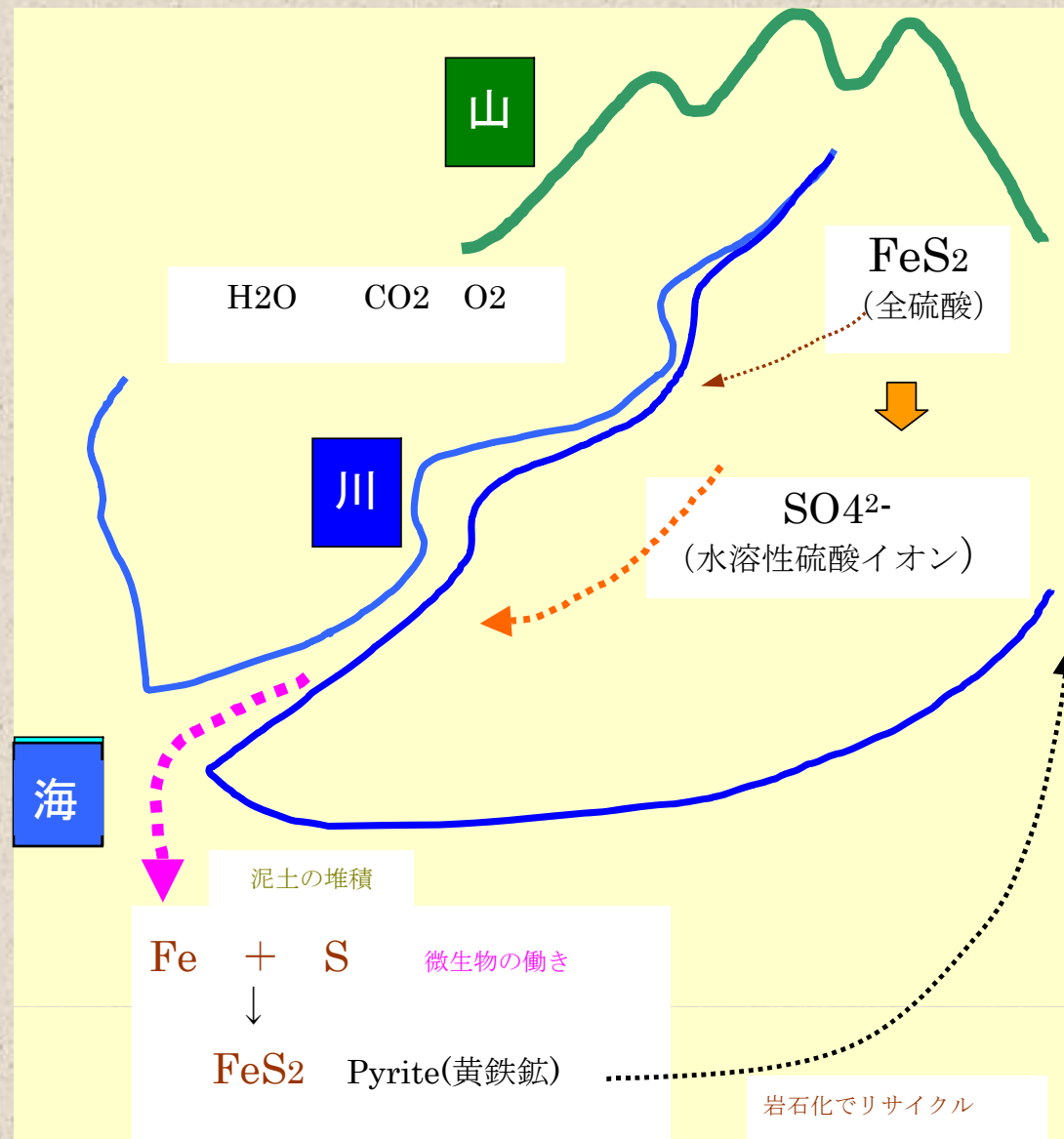
炭酸塩

硫酸塩

塩化物

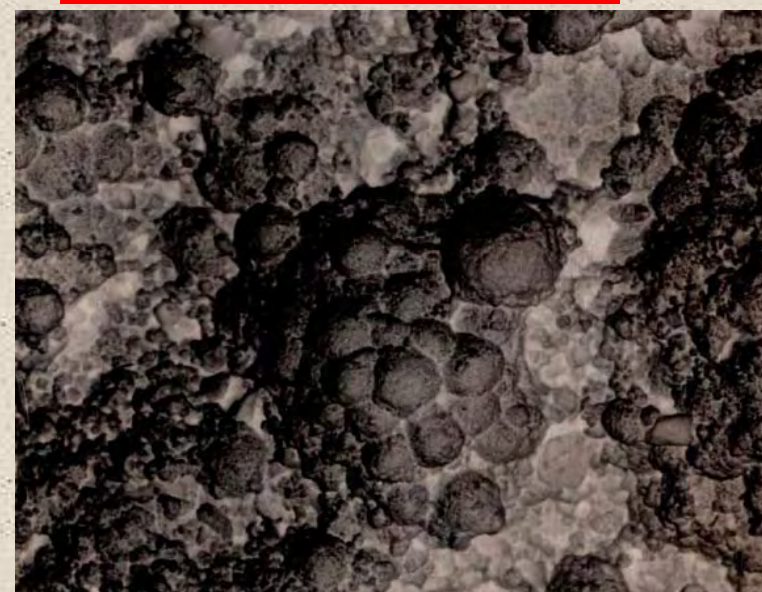
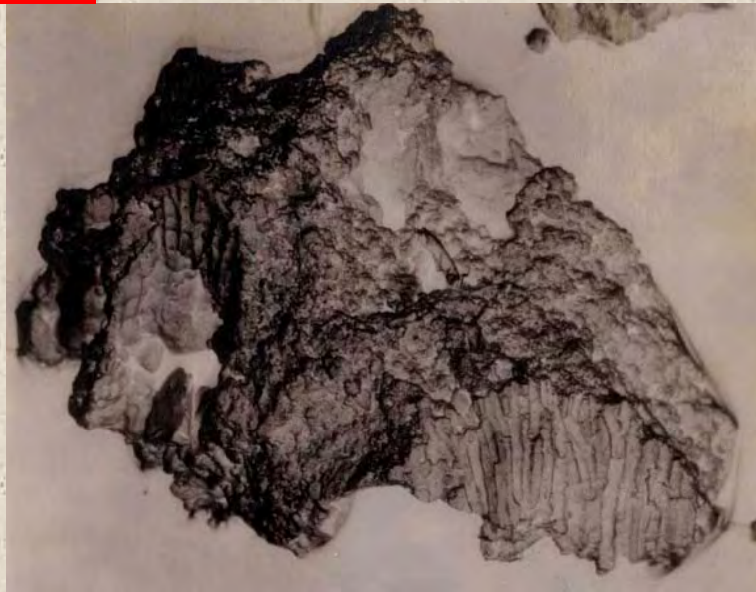
硫酸塩の一般的性質

自然界の サイクル



硫酸塩の一般的性質

- 洪積固結粘土(博多湾海底)中の黄鉄鉱SEM像
(スケールバーの長さ100 μm = 0.1mm)

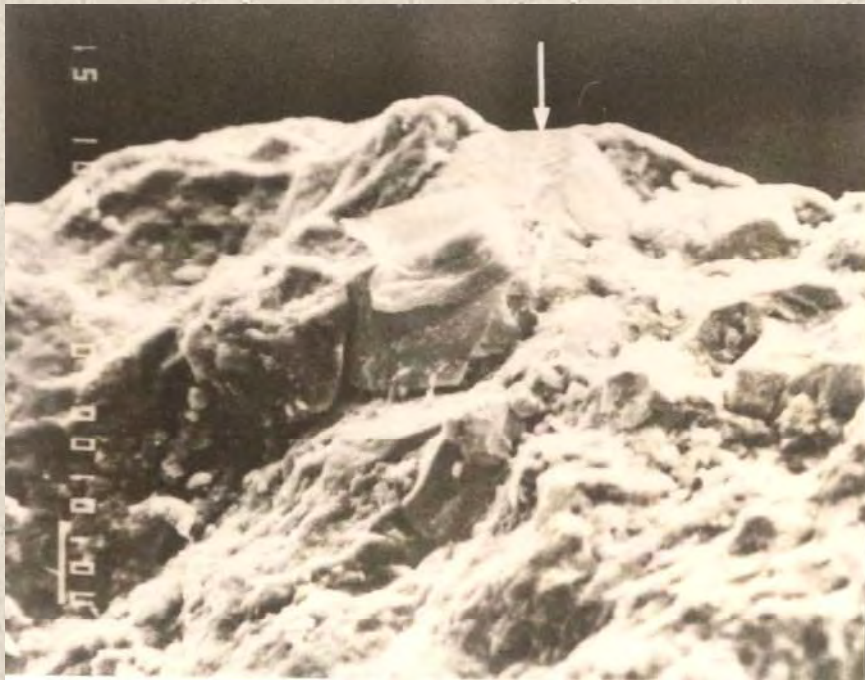


凹凸部になっている黄鉄鉱(フランボイダルパイライト)の生成が確認され、生物起源である

硫酸塩の一般的性質

古第三紀層(博多湾海底下)中の黄鉄鉱SEM像

(スケールバーの長さ100 μ m = 0.1mm)



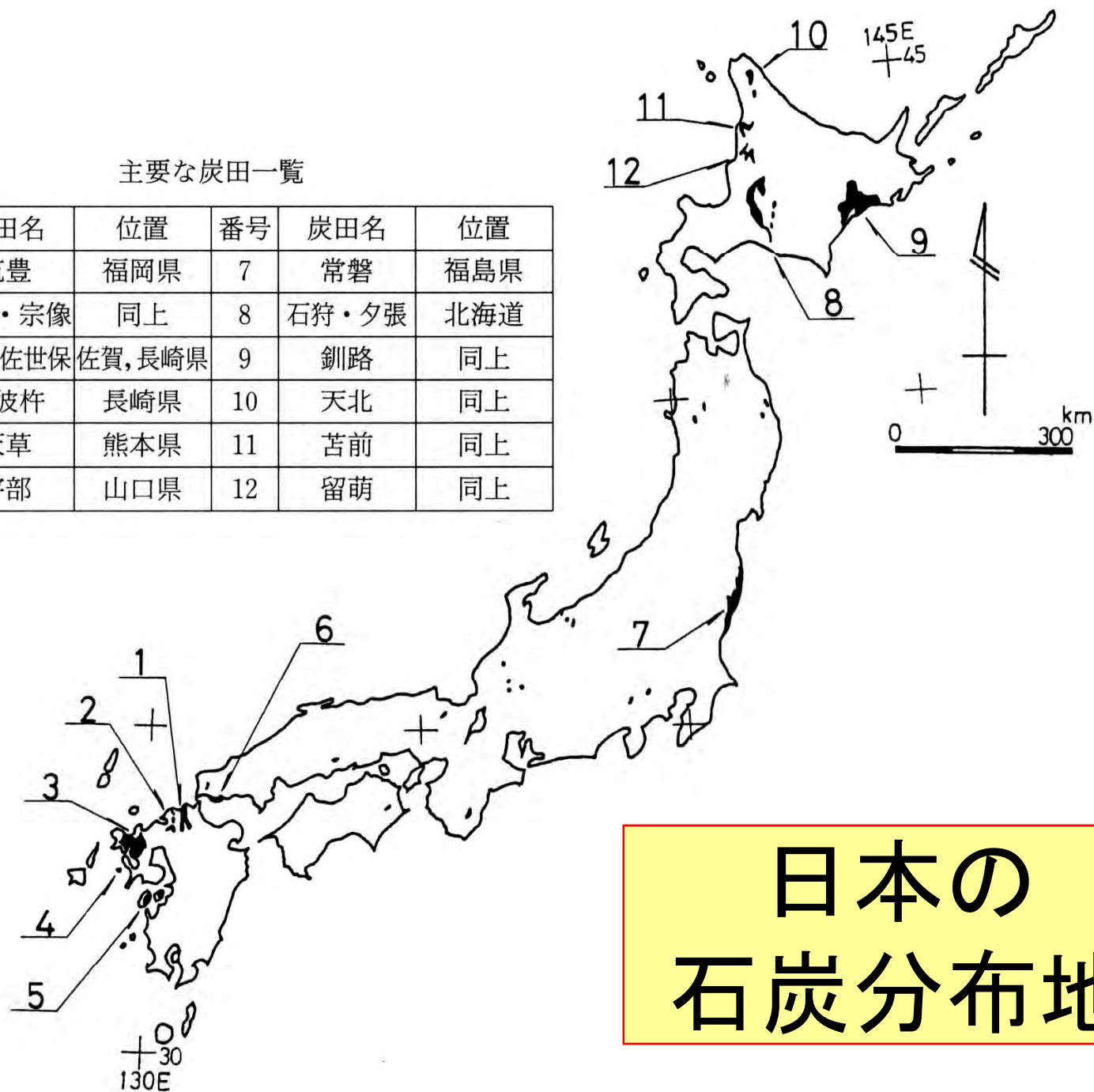
化学的に安定した黄鉄鉱(地質年代が古い)→溶解しにくい

各地盤の硫酸イオン濃度

- 日本の堆積岩は概ね海成層である
- 海成層は、もともと海底に堆積した泥土が脱水・固結化したもの
- この泥土中にはフアンボイダル黄鉄鉱が多い
- 新第三紀層以降の新しい地層ほど黄鉄鉱が分解され硫酸イオンが溶出しやすい
- 溶出した硫酸イオンにより強酸性化し、岩石が分解され、もとの泥土になる

主要な炭田一覧

番号	炭田名	位置	番号	炭田名	位置
1	筑豊	福岡県	7	常磐	福島県
2	福岡・宗像	同上	8	石狩・夕張	北海道
3	唐津・佐世保	佐賀, 長崎県	9	釧路	同上
4	西彼杵	長崎県	10	天北	同上
5	天草	熊本県	11	苫前	同上
6	宇部	山口県	12	留萌	同上

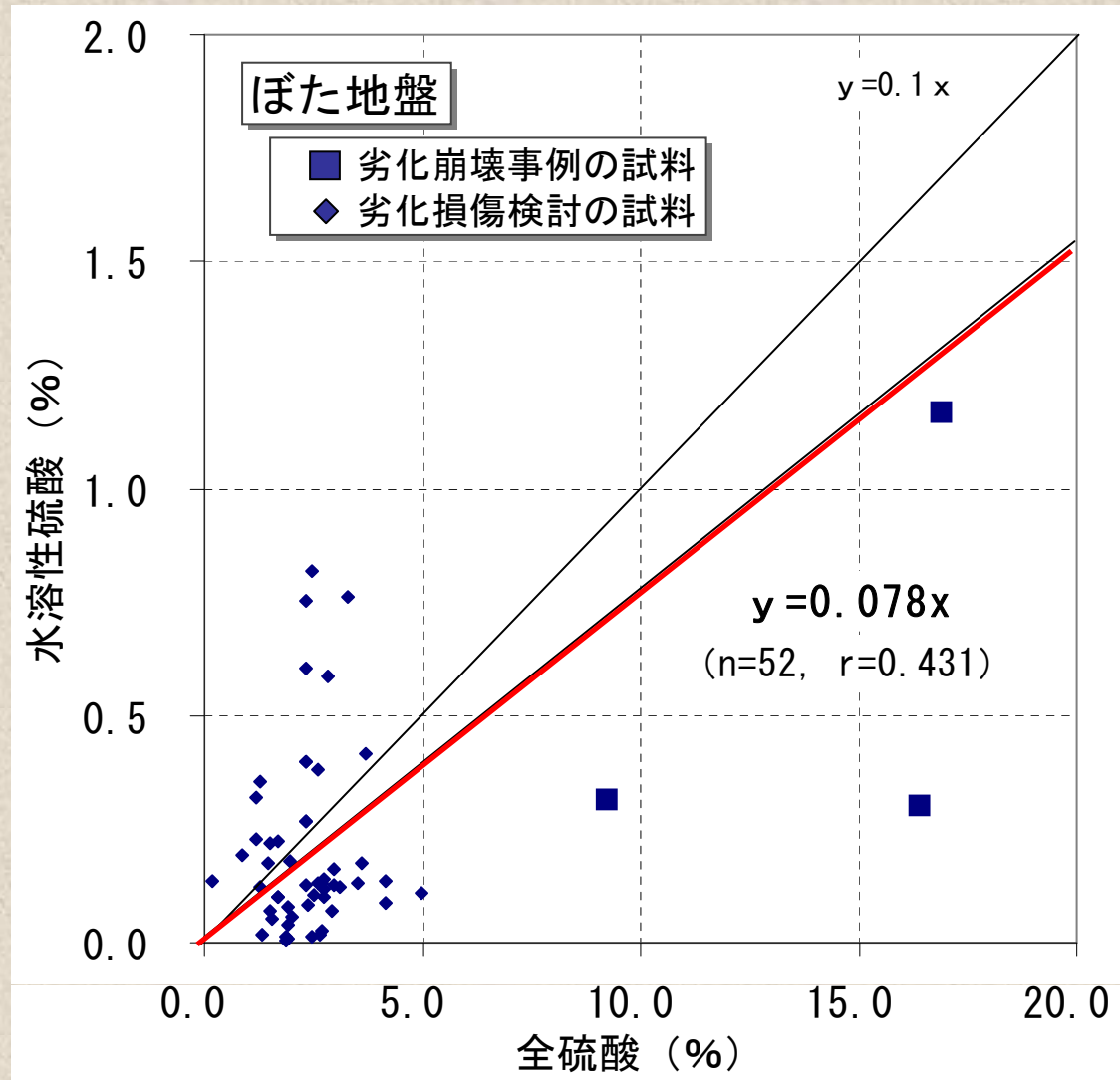


日本の
石炭分布地

古第三紀層炭田のぼたによる地盤の硫酸イオン濃度

	地層名	pH	全硫酸 SO ₄ (%)	水溶性硫酸 SO ₄ (%)	分析試料の 採取状態	分析の目的
1	粕屋層群	分析値なし	9.23~16.9 (14.1)	0.30~1.17 (0.60)	深さ50cm以内の 床下土中のぼた	基礎コンクリートの 劣化崩壊
2	姪浜層群	3.1~3.3 (3.2)	分析値なし	0.009~1.32 (0.71)	深さ60~80cmの 床下土下のぼた	基礎コンクリートの 劣化崩壊
3	姪浜層群	分析値なし	0.85~2.35 (1.54)	0.12~0.40 (0.23)	海上埋立されたぼ たのボーリングコア	計画されたコンクリート 構造物の対策
4	志免層群	9.3~10.0 (9.8)	1.33~2.01 (1.61)	0.02~0.07 (0.05)	ぼた山からの ボーリングコア	計画されたコンクリート 構造物の対策
5	杵島層群	3.0~5.2 (3.9)	2.45~4.96 (3.06)	0.42~0.82 (0.65)	ぼた山からの ボーリングコア	計画されたコンクリート 構造物の対策

古第三紀炭田地域におけるぼた地盤の硫酸イオン濃度



ぼた造成地の地形地質

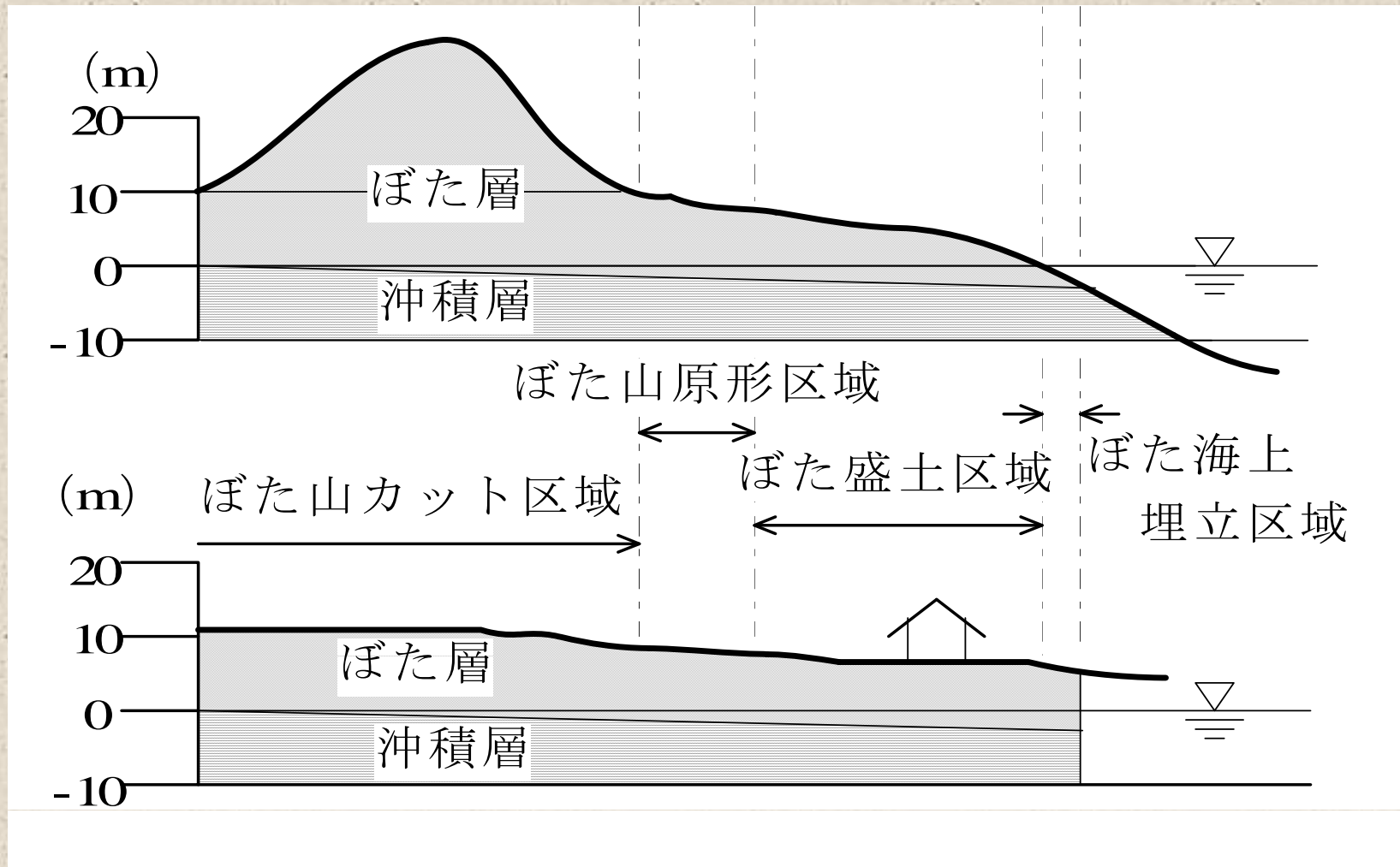
- 現在も残る「ぼた山」



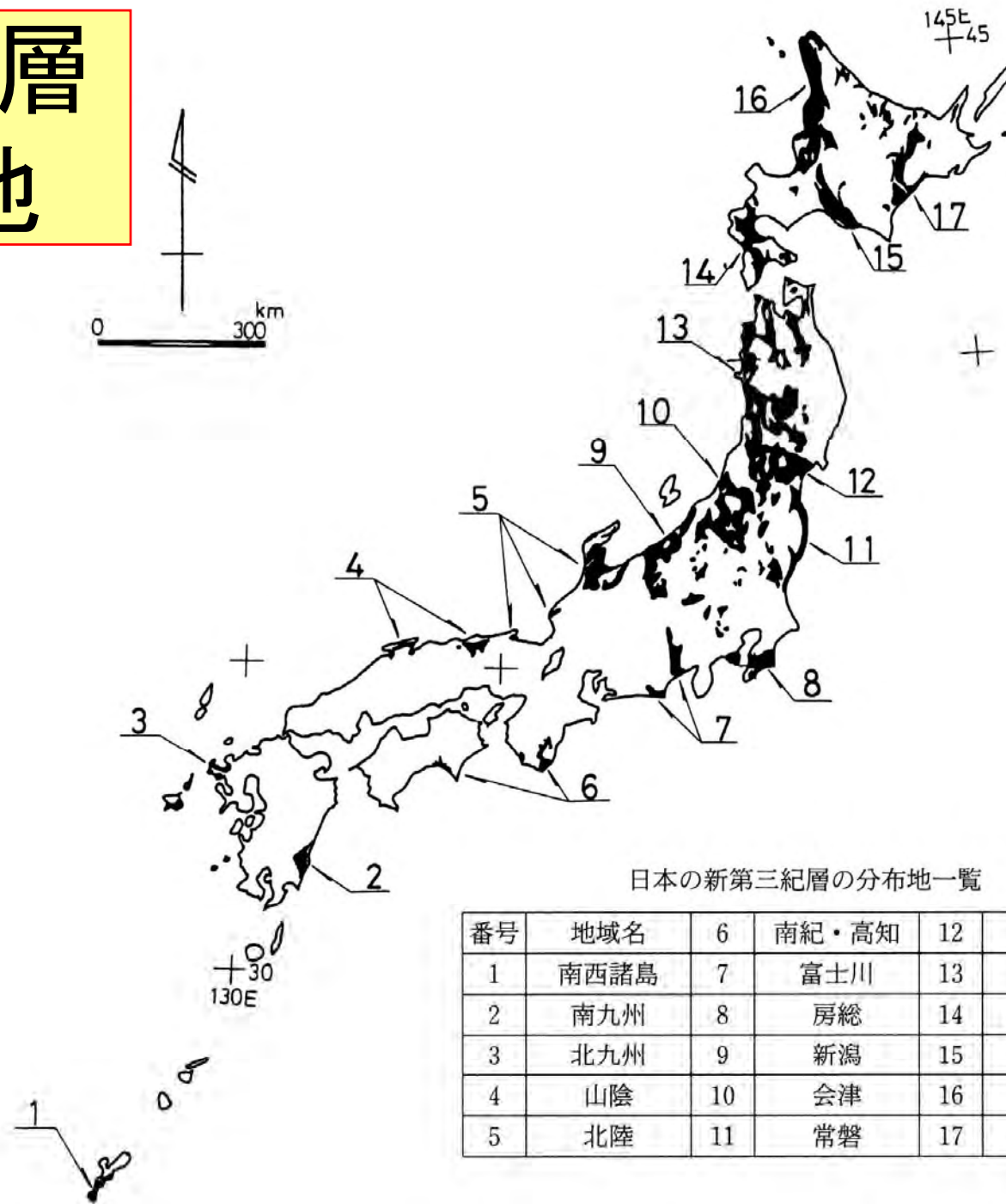
- ぼた山の現状



ぼた地盤の地層構成



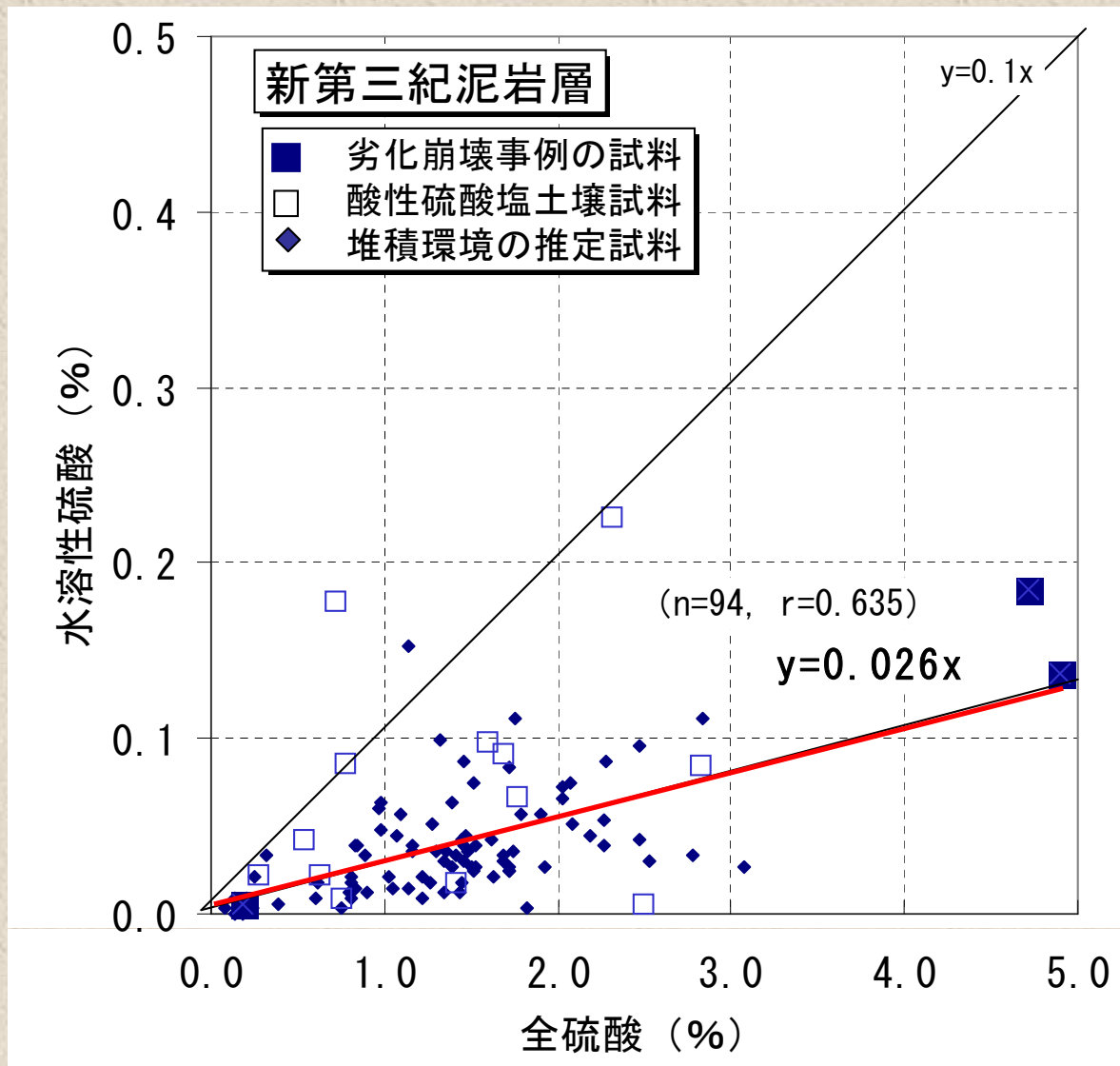
新第三紀層 の分布地



新第三紀泥岩層による地盤の硫酸イオン濃度

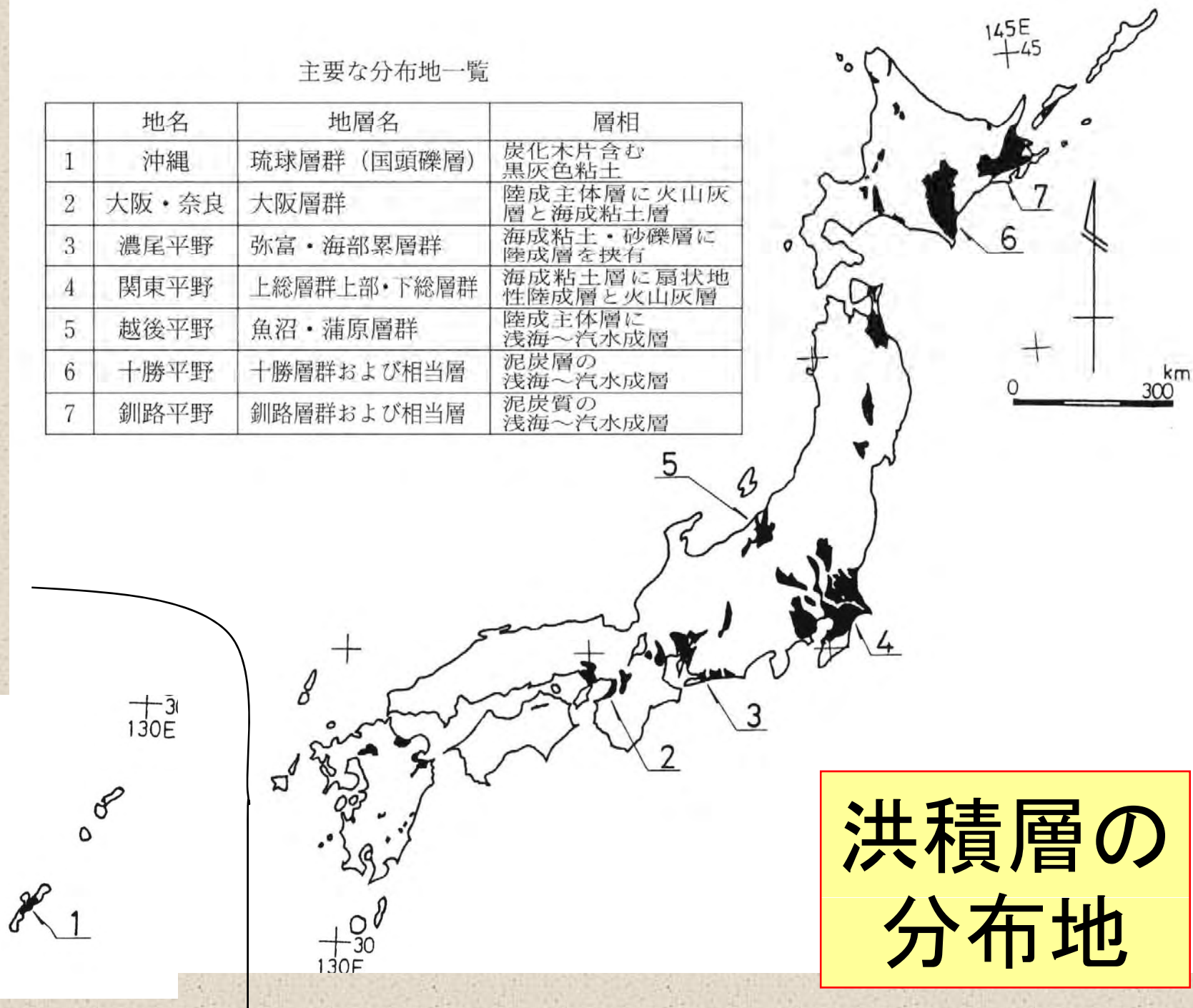
	地層名	pH	全硫酸 SO ₄ (%)	水溶性 硫酸 SO ₄ (%)	分析試料 の 採取状況	分析の目的
1	島尻層群	3.1~8.8 (6.9)	0.78~7.86 (3.00)	分析値なし	地表露岩から 青灰色泥岩	酸性硫酸塩土壌
2	宮崎層群	4.4~8.3 (5.4)	0.27~1.77 (0.90)	0.008~0.067 (0.03)	切取法面から 青灰色部	腐食対策
3	富士川層群	2.3~6.3 (4.1)	分析値なし	0.48~0.60 (0.52)	深さ20~40cmの 開墾土	酸性硫酸塩土壌
4	上総層群	分析値なし	0.08~3.31 (1.35)	0.01~0.33 (0.05)	地表露岩から 青灰色部	堆積環境の推定
5	寺泊層・椎谷層	分析値なし	1.14~4.84 (2.31)	分析値なし	地表露岩から 青灰色部	堆積環境の推定
6	湯長谷層群	3.0~5.9 (3.6)	0.78~2.82 (1.76)	0.006~0.38 (0.14)	切取法面から 青灰~褐色部	腐食対策
7	船川層・女川層	2.7~7.2 (4.9)	0.18~5.67 (2.25)	0.006~0.18 (0.10)	地表露岩から 青灰色部	酸性硫酸塩土壌
8	稚内層・袋地層	分析値なし	0.093~4.09 (1.45)	分析値なし	川沿い露岩 ボーリングコア	堆積環境の推定

新第三紀泥岩中の硫酸イオン濃度



主要な分布地一覧

	地名	地層名	層相
1	沖縄	琉球層群 (国頭礫層)	炭化木片含む 黒灰色粘土
2	大阪・奈良	大阪層群	陸成主体層に火山灰 層と海成粘土層
3	濃尾平野	弥富・海部累層群	海成粘土・砂礫層に 陸成層を挟有
4	関東平野	上総層群上部・下総層群	海成粘土層に扇状地 性陸成層と火山灰層
5	越後平野	魚沼・蒲原層群	陸成主体層に 浅海～汽水成層
6	十勝平野	十勝層群および相当層	泥炭層の 浅海～汽水成層
7	釧路平野	釧路層群および相当層	泥炭質の 浅海～汽水成層

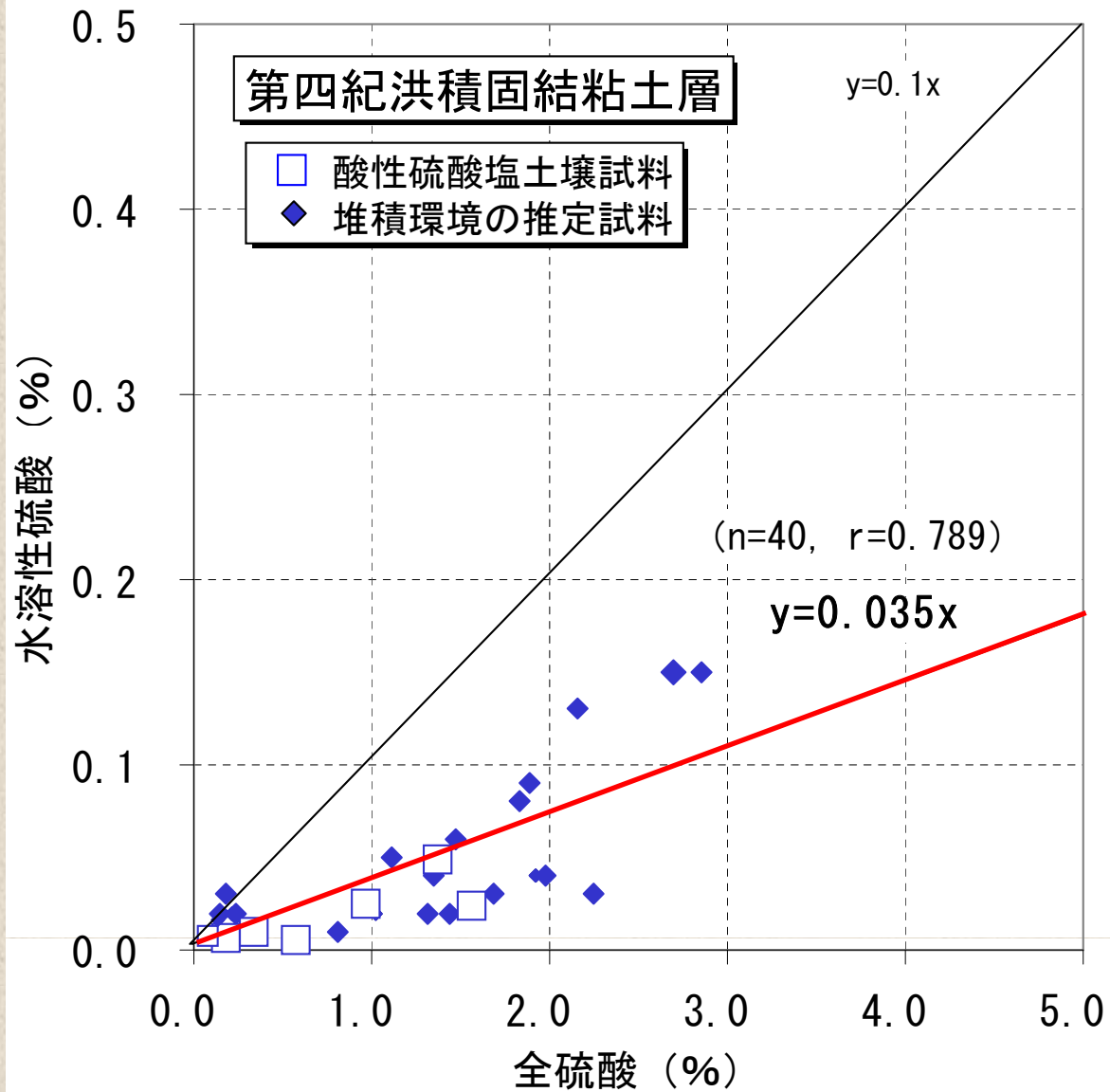


**洪積層の
分布地**

第四紀洪積固結粘土層による地盤の硫酸イオン濃度

	地層名	pH	全硫酸 SO ₄ (%)	水溶性 硫酸 SO ₄ (%)	分析試料の 採取状況	分析の目的
1	国頭礫層	2.3~2.5 (2.4)	3.92~5.36 (4.64)	分析値なし	深さ20~40cmの 開墾土	酸性硫酸塩 土壌
2	大阪層群	2.4~4.3 (3.6)	1.14~5.16 (2.49)	分析値なし	地表露岩の 青灰色部	堆積環境の推 定
3	上総層群 上部層	4.5~7.1 (6.1)	0.075~1.56 (0.65)	0.006~0.049 (0.018)	地表露岩の 青灰色部	堆積環境の推 定
4	灰爪層	分析値な し	0.12~2.85 (1.01)	0.01~0.15 (0.038)	ボーリングコア 深度50m迄	堆積環境の推 定

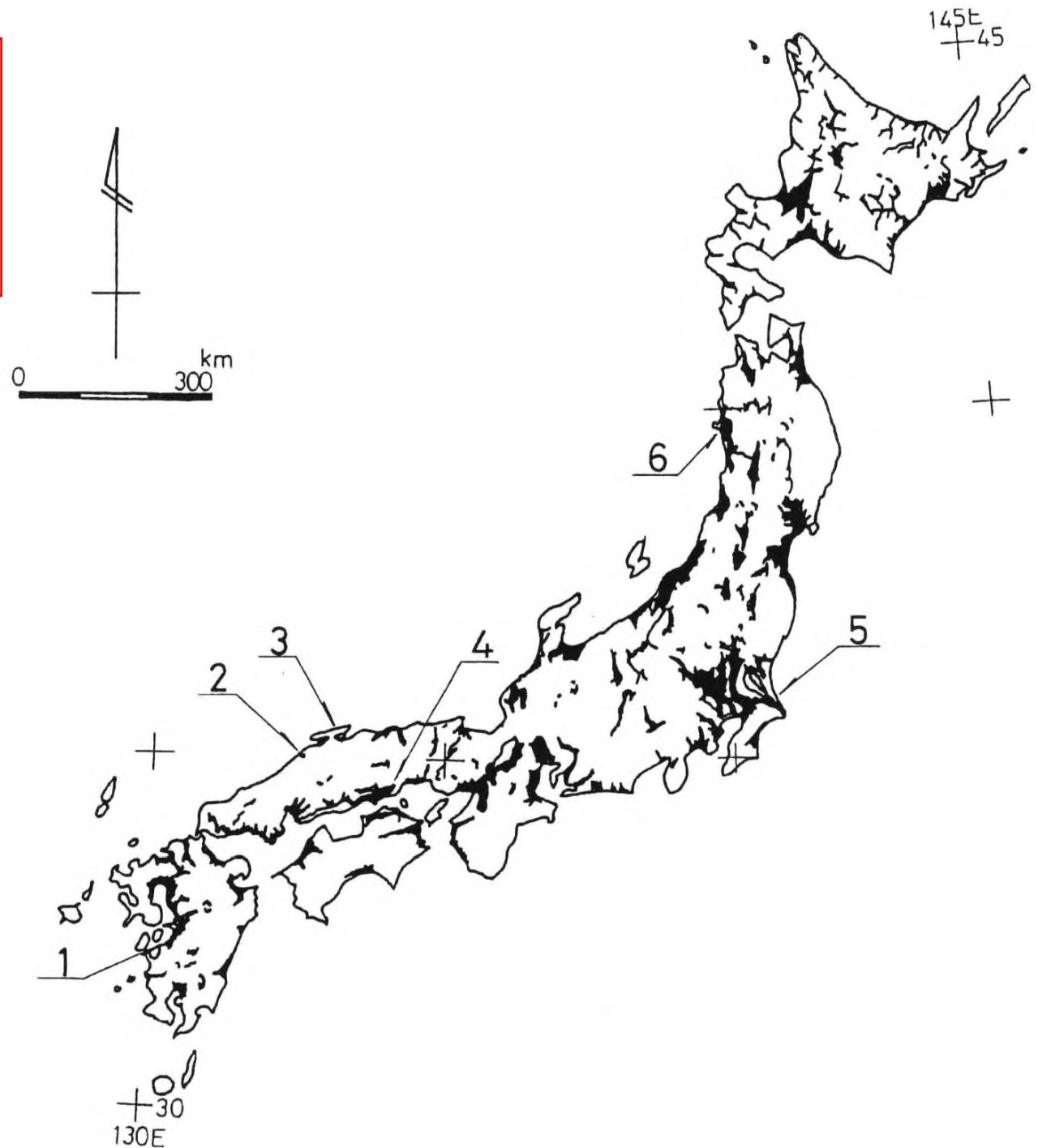
第四紀洪積固結粘土層の硫酸イオン濃度



沖積層の 分布地

主要な干拓地分布一覧

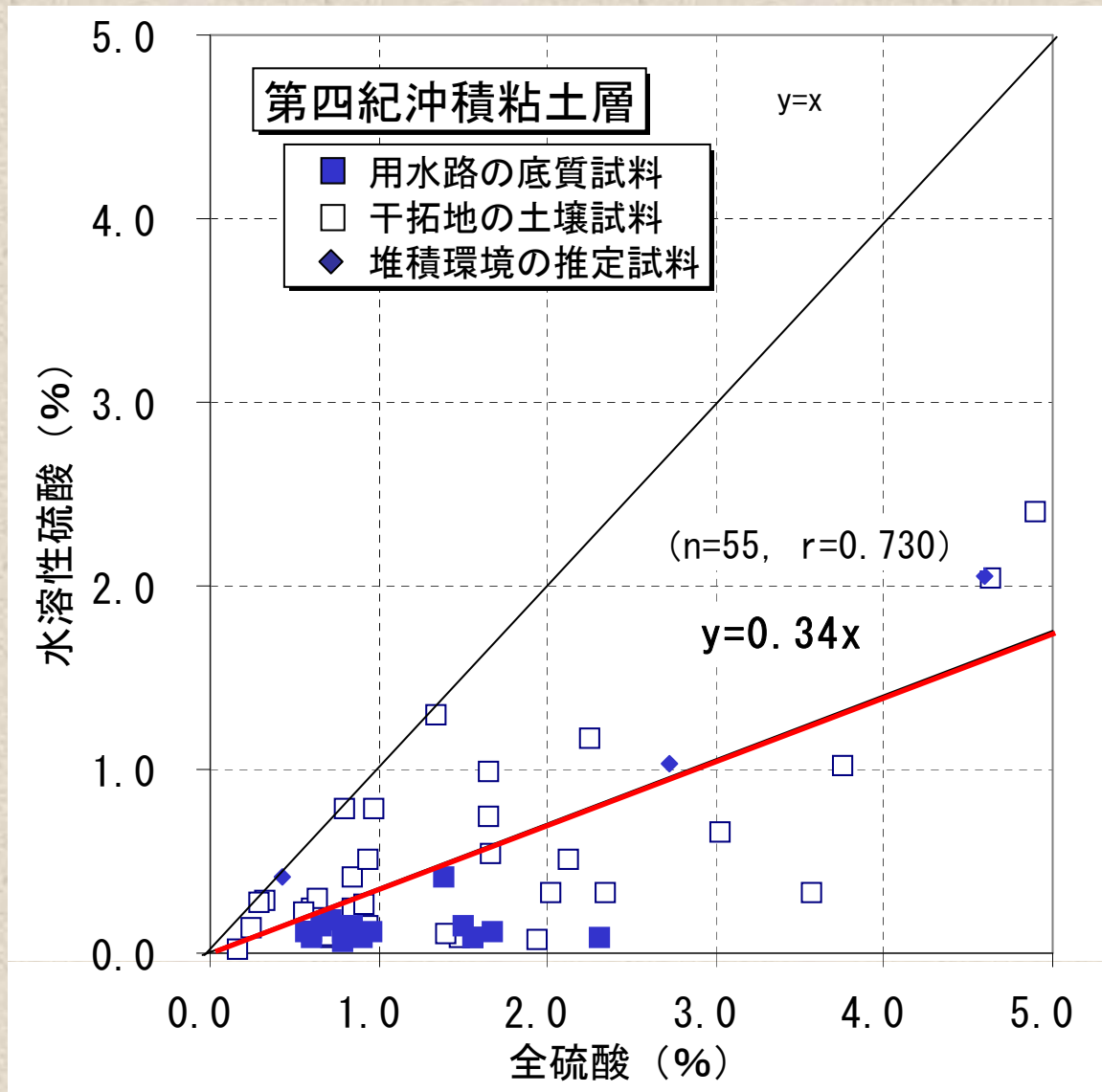
	地名	干拓地名
1	熊本	八代湾・有明海
2	島根	波根湖
3	同上	中海・宍道湖
4	岡山	児島湾
5	茨城	霞ヶ浦
6	秋田	八郎潟



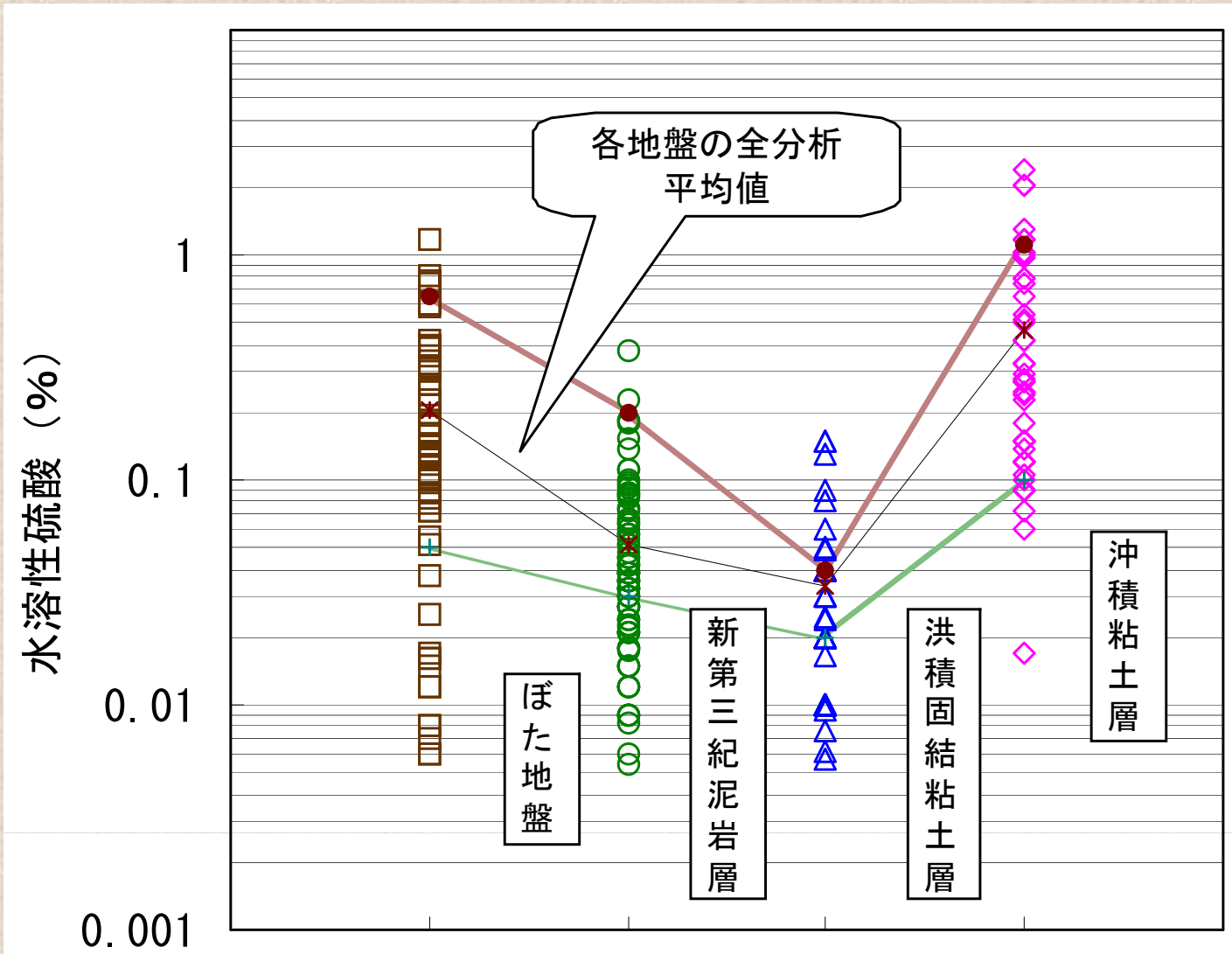
第四紀沖積粘土層による地盤の硫酸イオン濃度

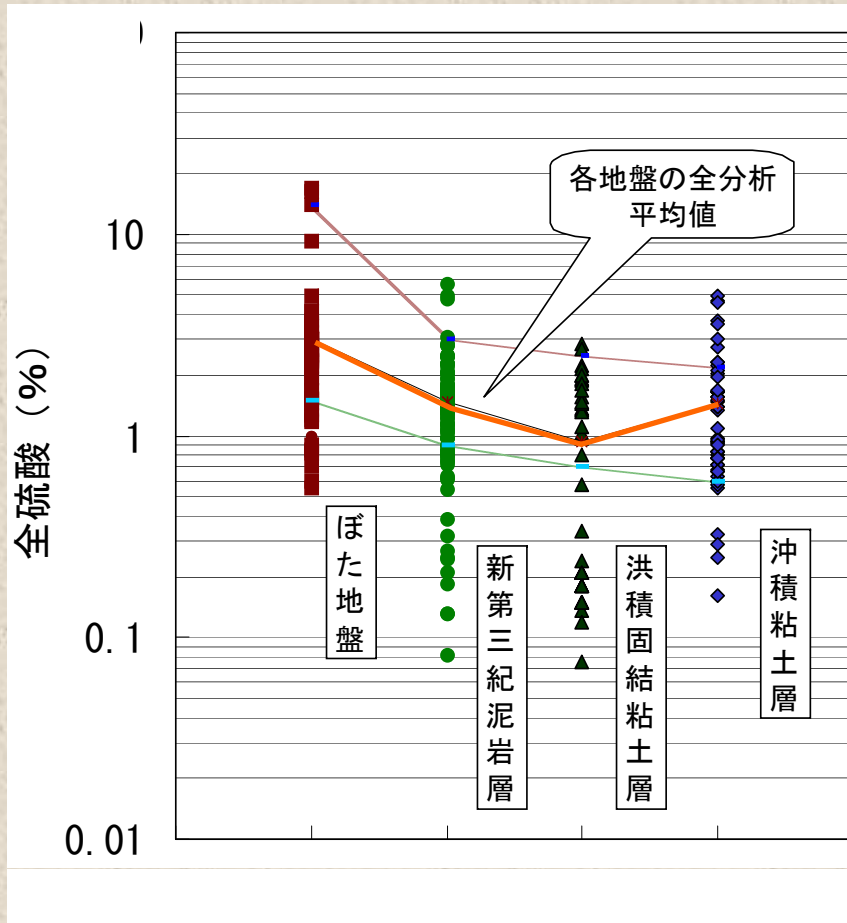
	地域名	pH	全硫酸 SO ₄ (%)	水溶性 硫酸 SO ₄ (%)	分析試料の 採取状況	分析の目的
1	八代湾	2.9~8.6 (4.4)	0.24~1.33 (0.64)	0.14~1.29 (0.51)	干拓地土壤	酸性硫酸塩土壤
2	波根湖	3.2~6.8 (4.8)	0.72~6.63 (2.24)	0.09~2.40 (0.71)	干拓地土壤	酸性硫酸塩土壤
3	中海・宍道湖	5.1~7.9 (6.5)	0.43~4.59 (1.89)	0.41~2.06 (1.14)	干拓地土壤 ボーリングコア	硫酸塩土壤 堆積環境
4	児島湾	4.6~6.6 (5.6)	0.16~3.02 (1.46)	0.02~0.66 (0.27)	干拓地土壤	酸性硫酸塩土壤
5	八郎潟	3.9~5.5 (4.3)	分析値なし	0.21~0.97 (0.59)	干拓地土壤	酸性硫酸塩土壤
6	筑紫平野	6.2~7.4 (7.0)	0.60~2.31 (1.04)	0.09~0.42 (0.14)	水路底質土	排出処理対策
7	広島平野	分析値なし	0.02~2.01 (1.28)	分析値なし	ボーリングコア	堆積環境の推定

第四紀沖積粘性土層の硫酸イオン濃度

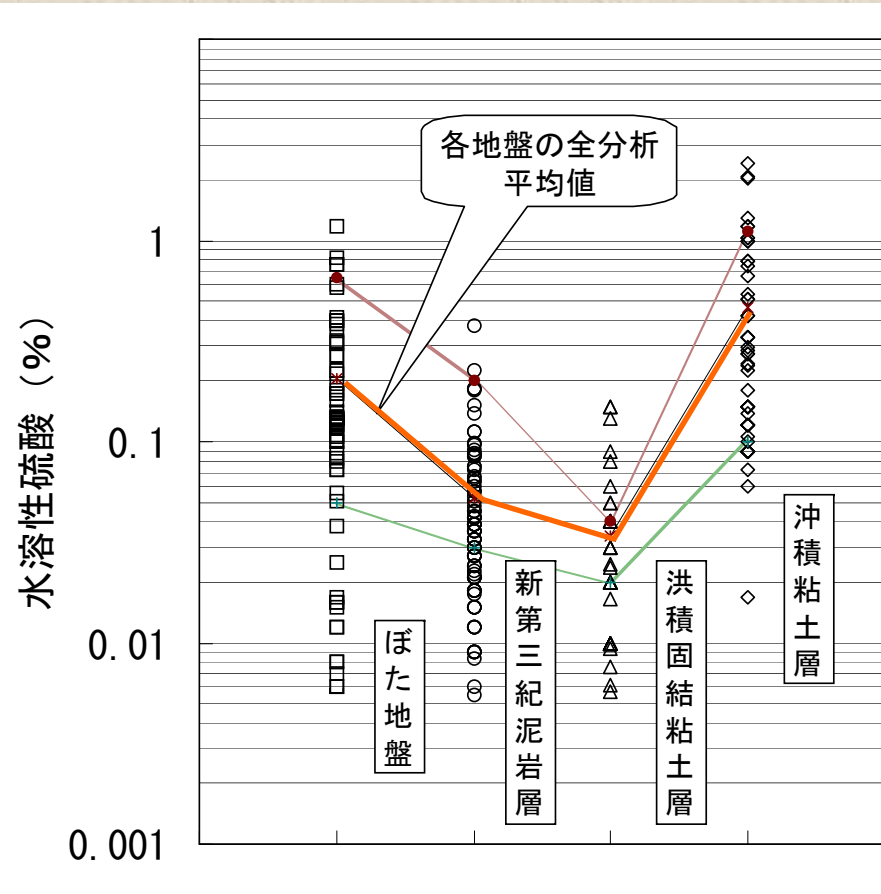


各地盤の硫酸イオン濃度





各地盤の硫酸イオン濃度(全硫酸)



各地盤の硫酸イオン濃度(水溶性硫酸)

各地盤における硫酸イオン濃度の平均値の幅 および 水溶性化率

地盤名	硫黄 換算値 S (%) *1	黄鉄鉱 換算値 FeS ₂ (%)*2	全硫酸 T-SO ₄ (%)	水溶性 硫酸 W-SO ₄ (%)	水溶性化 率*3 $\frac{W-SO_4}{T-SO_4}$ (%)	試料 数
ぼた地盤	0.5~4.7	1.9~18	1.5~ 14.0	0.05~ 0.65	7.8	52
新第三紀 泥岩層	0.3~1.0	1.1~3.8	0.9~3.0	0.03~ 0.2	2.6	94
第四紀洪積 固結粘土層	0.2~0.8	0.8~3.1	0.7~2.5	0.02~ 0.04	3.5	40
第四紀沖積 粘土層	0.2~0.7	0.8~2.8	0.6~2.2	0.1~1.1	34.0	55

*1 : 全硫酸SO₄ : 32+16×4=96に対する硫黄S : 32への (換算値) .

*2 : 全硫酸のすべてのSが黄鉄鉱とした場合のFeS₂ : 56+32×2=120への (換算値) .

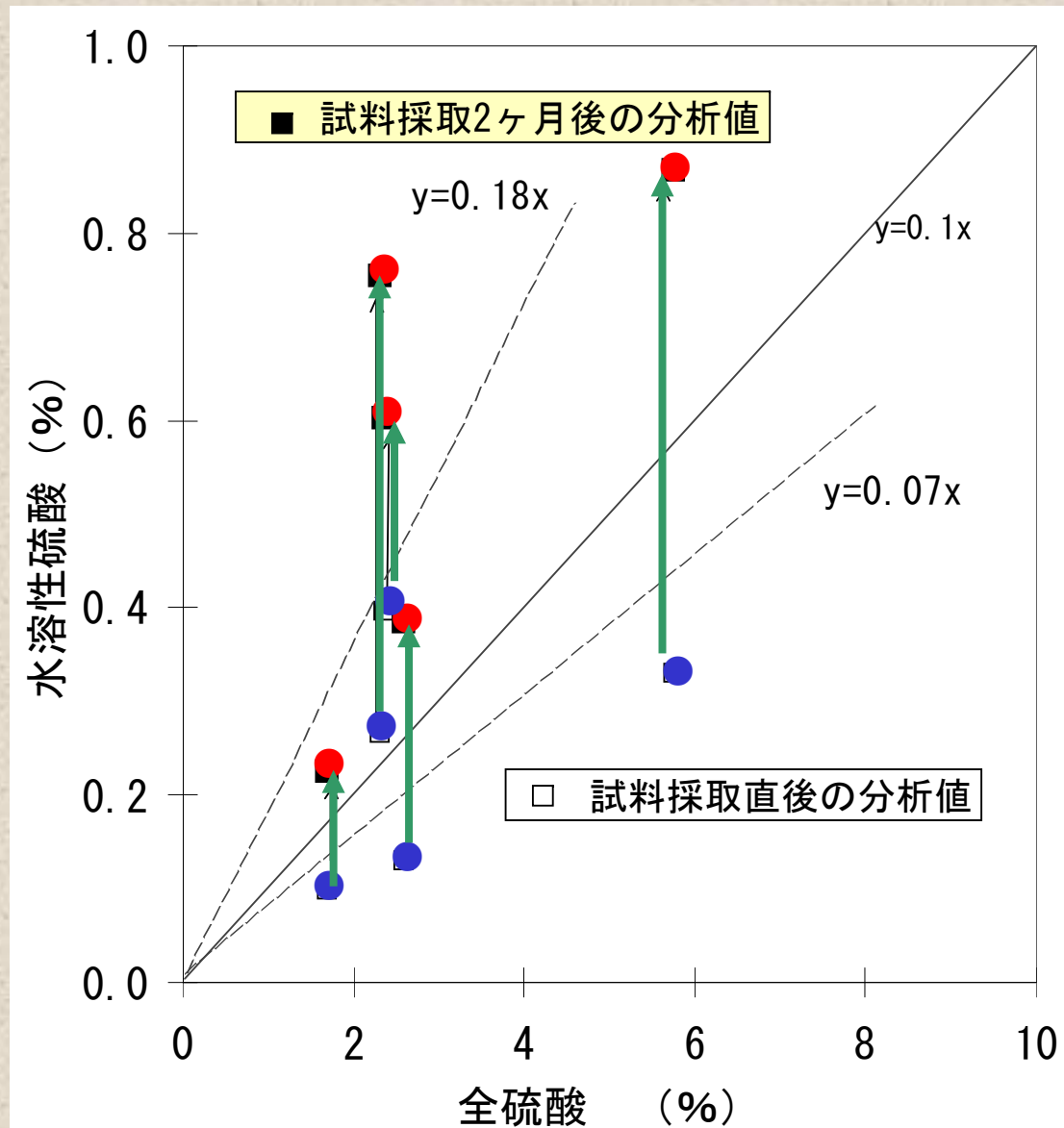
*3 : 水溶性化率は水溶性硫酸の全硫酸に対する百分率で表す.

土を乱すことによる硫酸イオン濃度の増大

[水溶性硫酸の増加率]

試料名	全硫酸 SO ₄ (%)	水溶性硫酸 SO ₄ (%)	2ヶ月後の 水溶性硫酸 SO ₄ (%)	水溶性硫酸の 増加率 (倍/2ヶ月)
浚渫砂礫	1.69	0.100	0.225	2.3
浚渫シルト	2.28	0.131	0.381	3.0
沖積粘性土層	2.31	0.267	0.754	2.8
沖積礫質土層	2.35	0.397	0.603	1.5
第三紀石炭層	5.74	0.331	0.868	2.6

土を乱すことによる硫酸イオン濃度の増大



まとめ

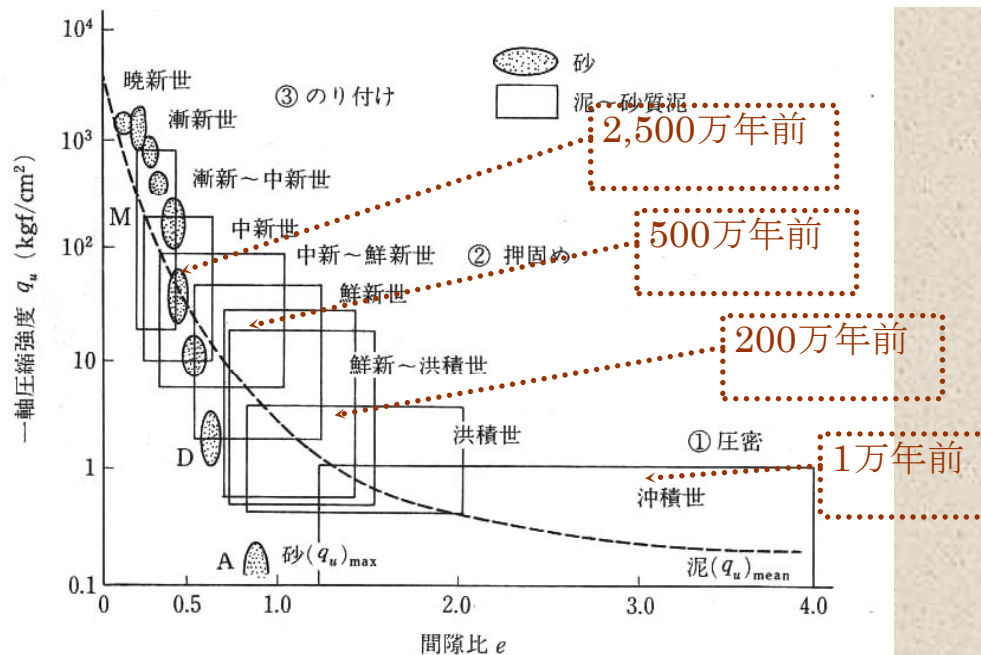
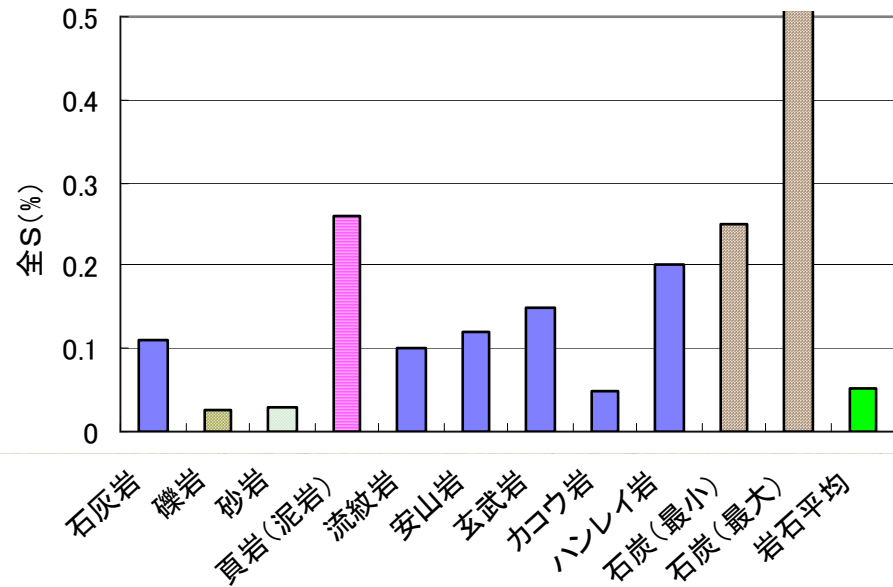
- 海成層は黄鉄鉱を含む
- 日本に分布する新第三紀以降の新しい地層は、もともと海底に堆積した泥土が脱水固結化した軟岩で、乾湿繰返しにより元の泥土に分解されやすい
- 新第三紀泥岩層に含まれる全硫酸は0.9～3.0%、水溶性硫酸イオンが0.03～0.52%
- 洪積固結粘土層に含まれる全硫酸は0.7～2.5%、水溶性硫酸イオンが0.02～0.04%

まとめ

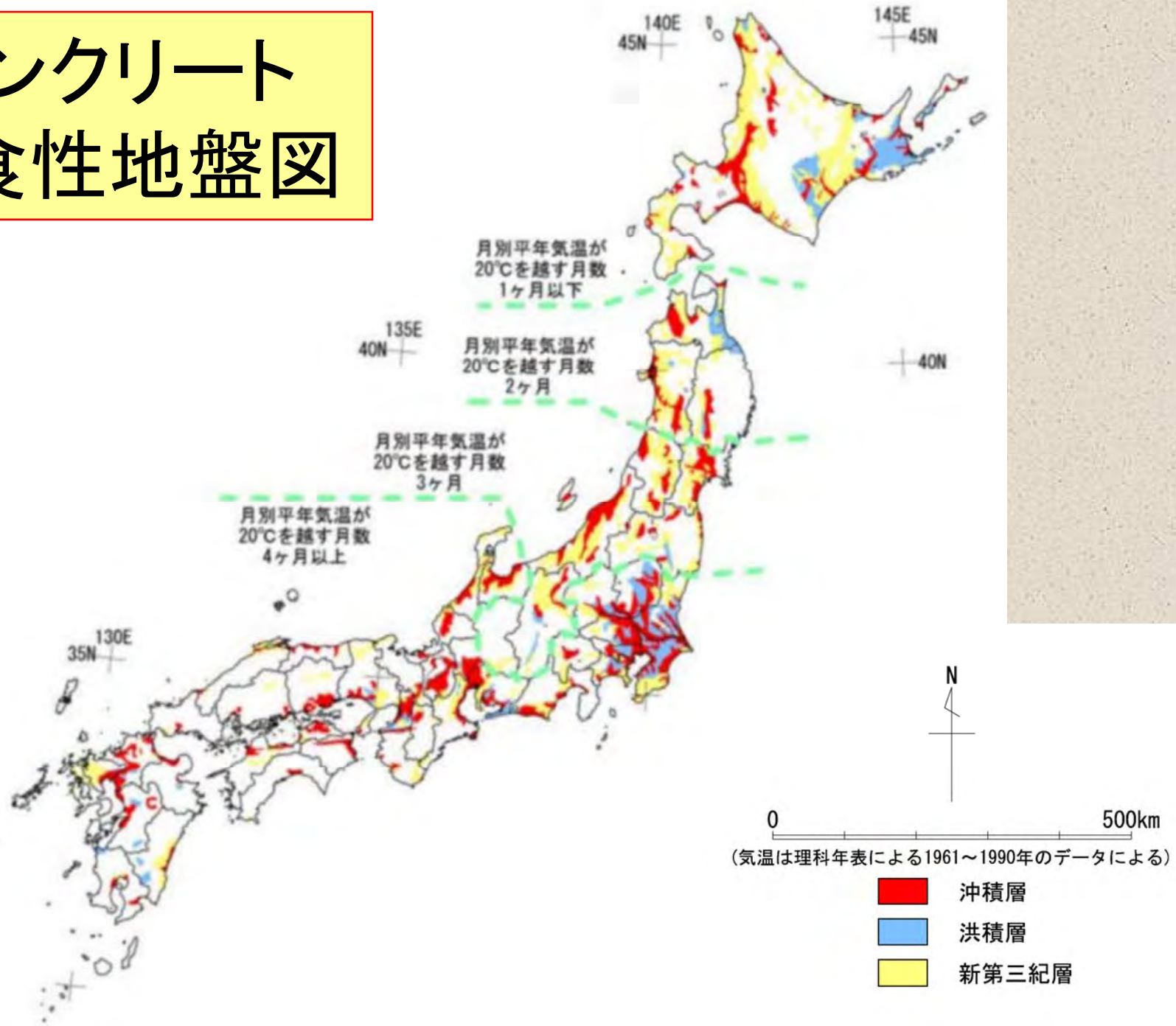
- 沖積粘性土層に含まれる全硫酸は0.6～2.2%、水溶性硫酸イオンが0.14～1.14%
- ぼた地盤のボーリング試料による水溶性硫酸イオン濃度は、2カ月間の気中放置後に1.5から3倍の濃度に増大した
- 硫酸イオン濃度による化学的腐食作用の厳しさを世界各国の規準と対比すると、上記地盤がコンクリート腐食性であることが判明した

腐食性地盤となる 環境要因

地質要因



コンクリート 腐食性地盤図



硫酸性地盤となる環境要因一覽

危険度		A : 高い ← B : 中位 → C : 低い				
地形	位置	埋立地	低地	台地	丘陵地	山地
	標高	0~5m	0~10m	10~50m	50~100m	100m~
地質	年代	現世	第四紀沖積世	新第三紀	洪積世	古第三紀
	堆積環境	海成層		汽水成層	淡水成層	
	岩種	泥・粘土・泥岩		砂・砂岩	砂礫・礫岩	
地盤	地下水	浅い・変動する			深い・変動しない	
	硬軟	軟質・細粒			硬質・粗粒	
土壌	地温	高い(25°C以上になる)			低い(20°Cを超えない)	
	含水比	高い(15%以上)			低い(10%以下)	
	腐植物	腐植物含む・微生物多い			微生物少ない・腐植物なし	
化学的性質	pH	~ 酸性(5.6)	~ 弱酸性	~ 中性(7.0)	~	
	水溶性硫酸 SO ₄	0.2%以上		0.2~0.02%	0.02%未満	
		(2000ppm以上		2000~200ppm	200ppm未満)	