

M協議会

「今さら聞けない 自然電位法」



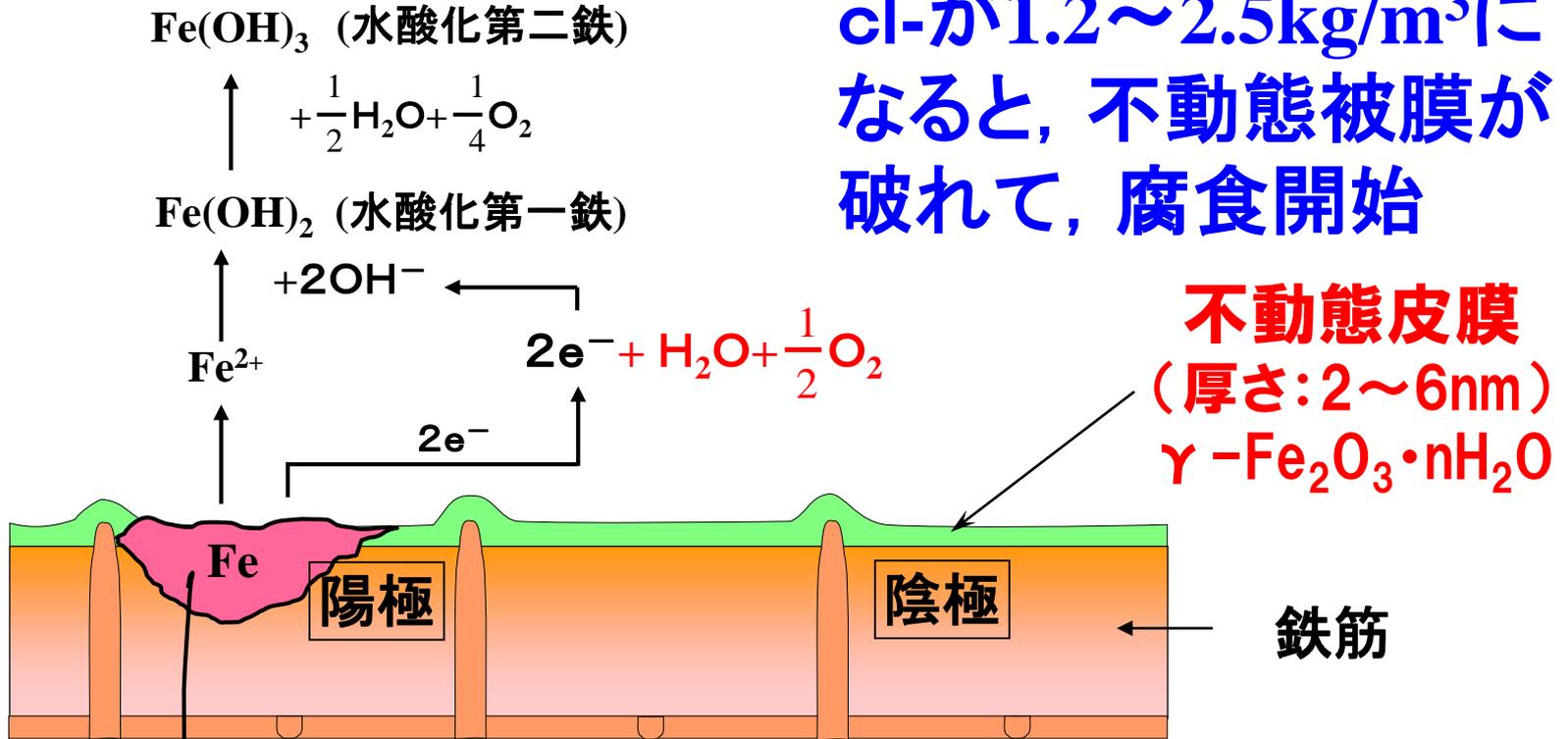
広島工業大学 大学院工学系研究科

建設工学専攻

竹田 宣典

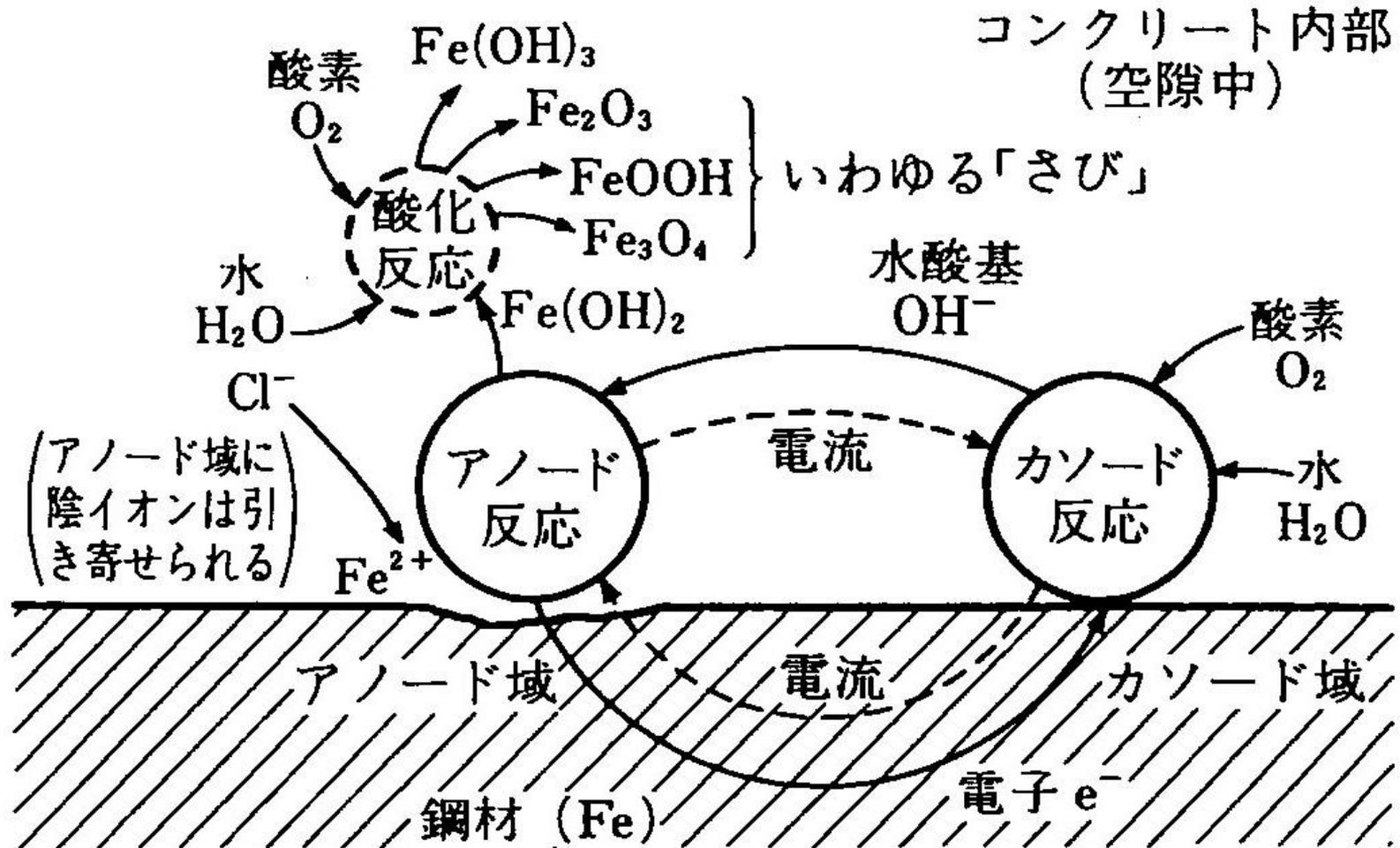
鉄筋腐食のメカニズム

Cl^- が $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ になると、不動態被膜が破れて、腐食開始



鉄筋が錆びるには、**不動態皮膜**の破損と**水**、**酸素**が必要

鉄筋腐食メカニズム



出典：土木学会，土木工学ハンドブック，1989
JCI コンクリート技術の要点'17，p.91

鉄筋腐食メカニズム

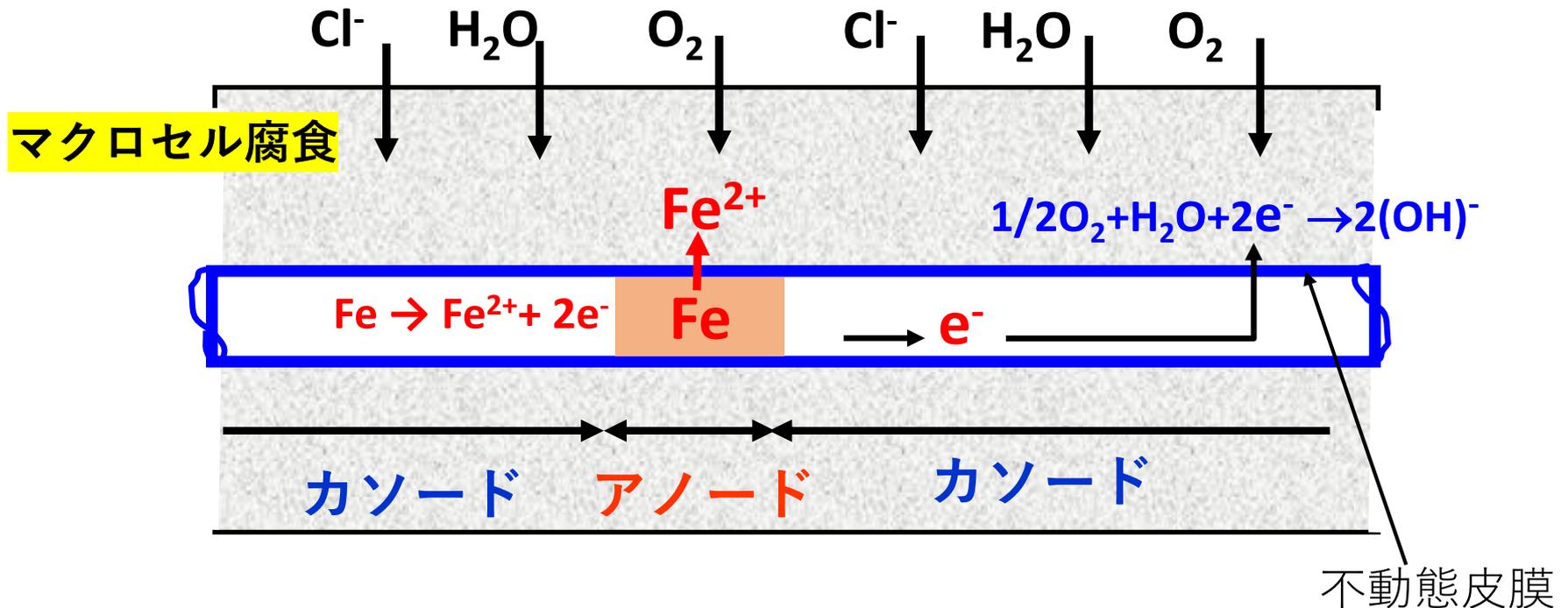
■STEP 1 金属の腐食：アノード部とカソード部ができることが原因



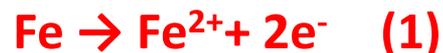
(酸化反応：鉄が電子を失い、鉄イオンになりコンクリート中に溶出、電子は鉄筋内に残り、カソード部に移動)



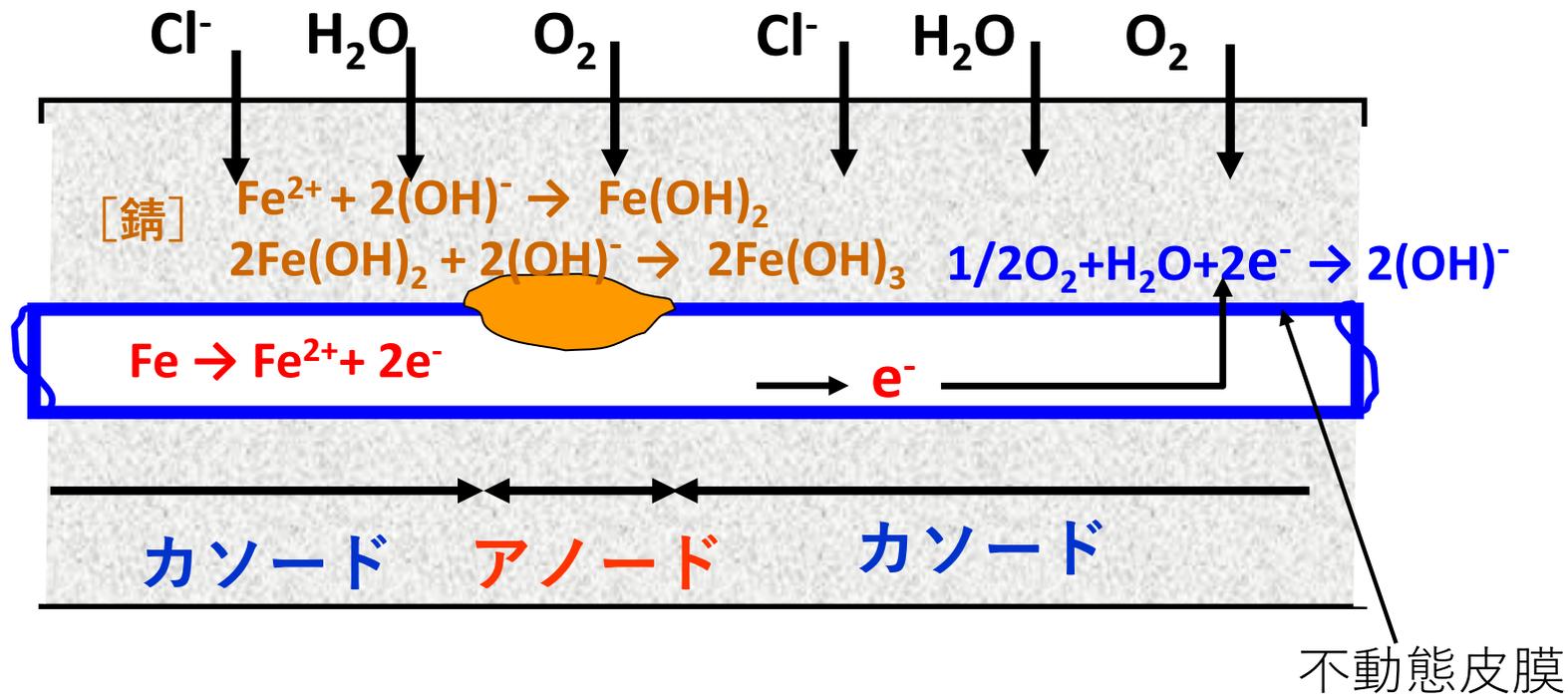
(還元反応：鉄筋表面で電子が水と酸素と結合し水酸イオンとなる)



■STEP 2 鉄の水酸化物（錆）ができる

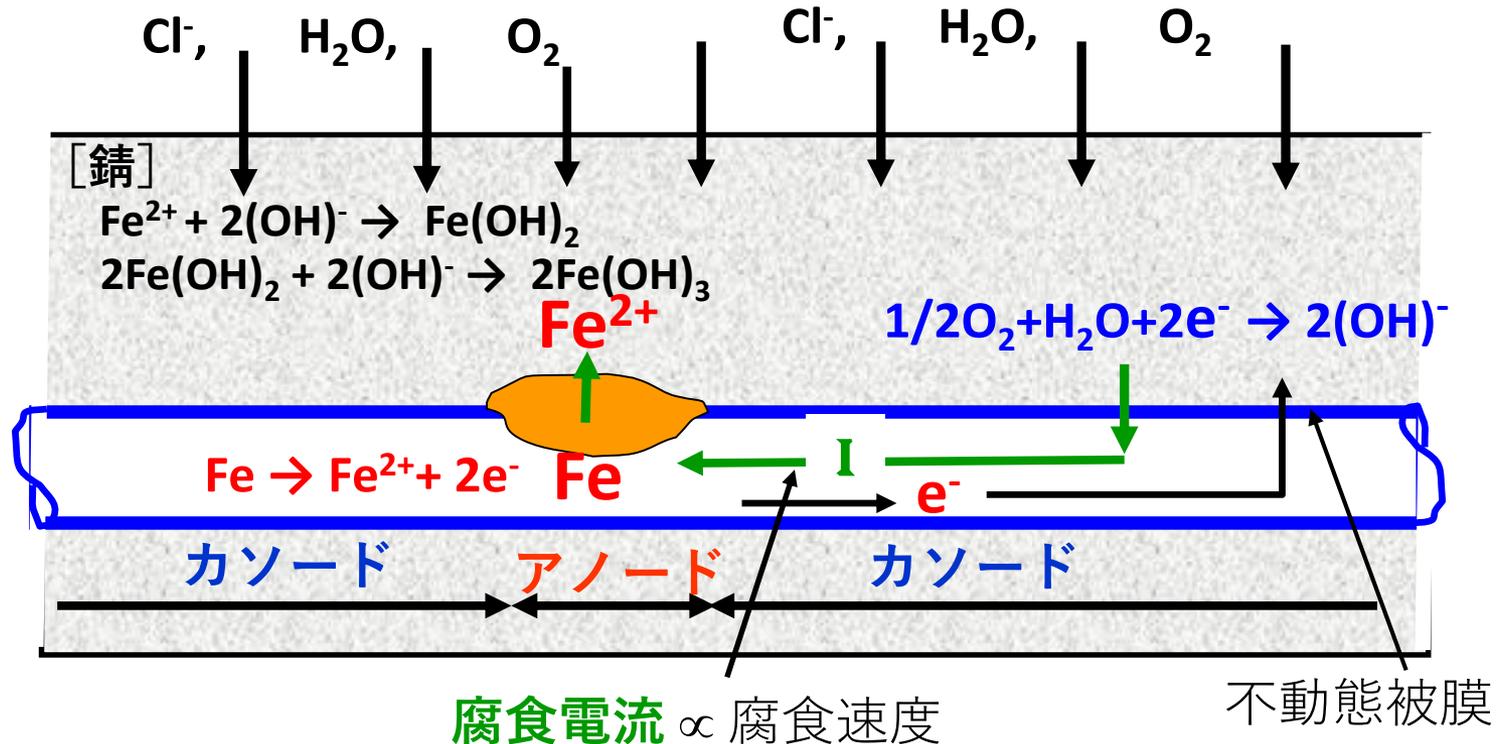


式(1)+式(2)



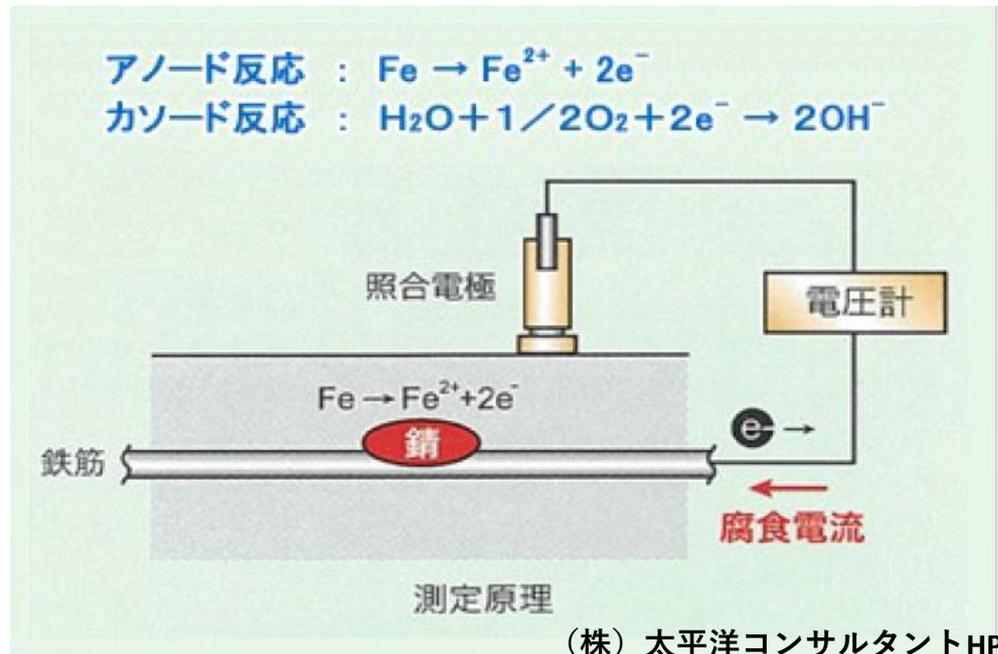
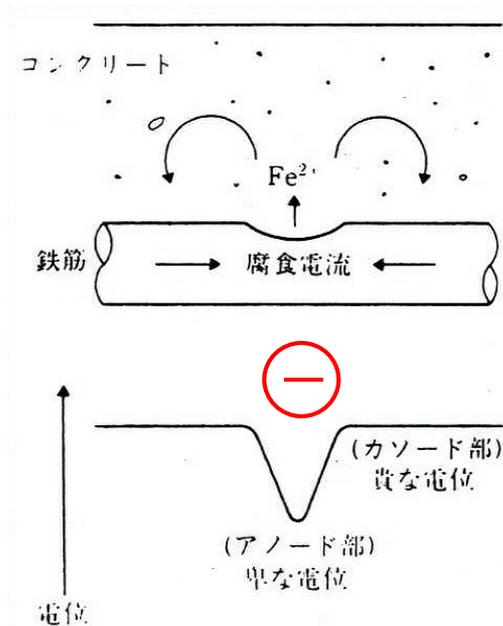
■STEP 3 電子が移動するので、電流が流れる（腐食電流）

- ・アノード部では鉄筋からコンクリートの電流が流れ、カソード部ではコンクリートから鉄筋に電流が流れる（回路形成）⇒電気化学反応（腐食）
 - ・アノード反応を押し進めるのは、金属の電子（ e^- ）のエネルギー
その指標は電位（ポテンシャル） [V]
 - ・カソード反応を押し進めるのは、イオンのエネルギー
その指標は化学ポテンシャル（通常はイオン濃度で代用）
- ⇒腐食する時、アノード反応とカソード反応が等しい速度で進行する。
この時の電位を腐食電位（=自然電位）という。



自然電位法

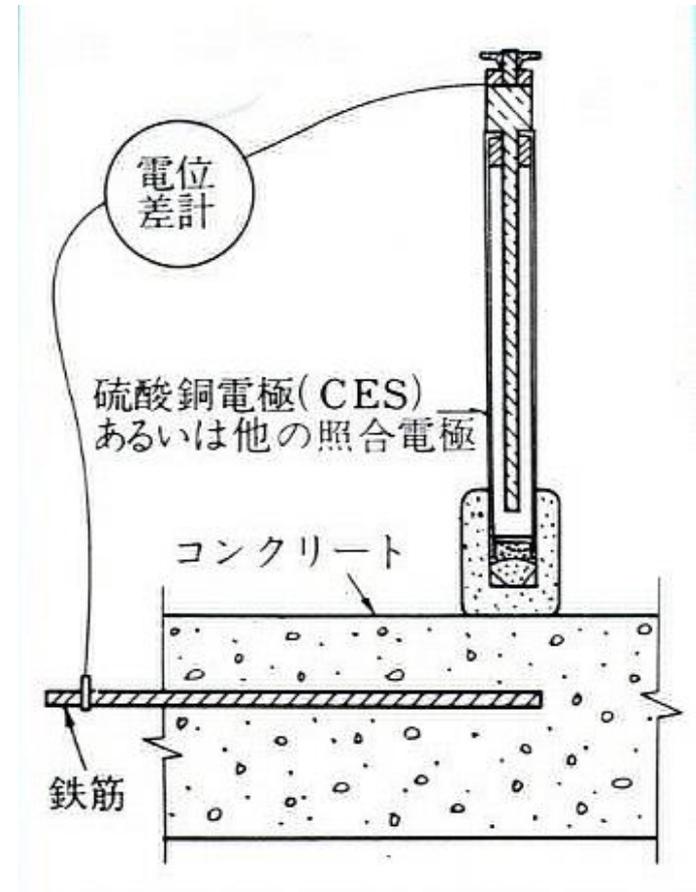
- ・ 自然電位 : 金属がその存在している環境で維持している金属固有の電位のこと。鉄筋が腐食すると表面に腐食電池（アノード部とカソード部）が形成され、自然電位も変化する。
⇒アノード部は負に帯電し自然電位は卑側（一側）に変化する。
- ・ 自然電位法 : 電位差計（電圧計）を介して、照合電極に対する鉄筋の電位を計測する方法。
- ・ 測定原理 : 照合電極と鉄筋の電位差により流れる電流を打ち消すように、逆の極性の電流を発生させ測定する。



自然電位法に関する規準

規準類

- ASTM C 876 Standard Test Method for Half-cell Potentials of Uncoated Reinforcing in Concrete (1977)
- JSCE-E 601-2018 コンクリート構造物における自然電位測定方法（案）



照合電極および電位差計

照合電極：鉄筋の自然電位を測定する場合に、腐食回路を構成する対極。環境によらず一定した電位を持つもので、微弱な電流が流れても電位が変化しないものを用いる。

- 飽和硫酸銅電極 (CSE)
- 飽和塩化銀電極 (SSE)
- 飽和カルメル電極 (SCE)
- 鉛電極 (PRE)

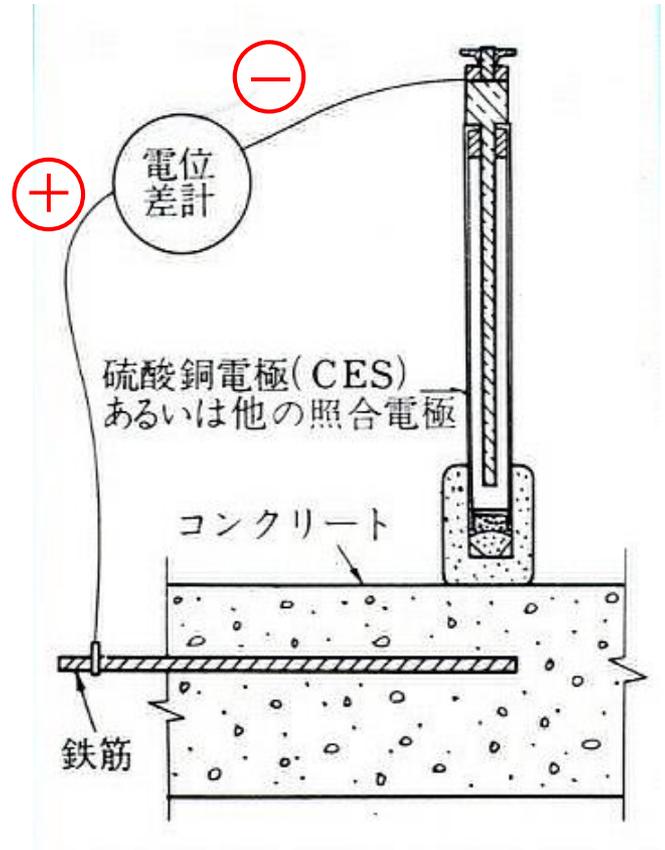


電位差計：入力抵抗値の高い電圧計を用いる。
(入力抵抗100MΩ以上、目量1mV以下の直流電圧計)



測定方法

1. コンクリート表面は、湿潤状態にして測定する。（測定前30分間程度、水の噴霧、散水）
2. 鉄筋は電位差計のプラス（+）端子に、照合電極は電位差計のマイナス（-）端子に接続する。
3. 照合電極の先端は、含水させたスポンジ、脱脂綿を巻き付けて、コンクリート表面と接触させる。
4. 測定間隔は、100～300mm程度
5. 自然電位は1mV単位まで測定。温度も測定する。（温度補正に必要）
6. 測定開始から1時間以内に測定を完了



測定値の換算

●照合電極の種類と測定時の温度による補正

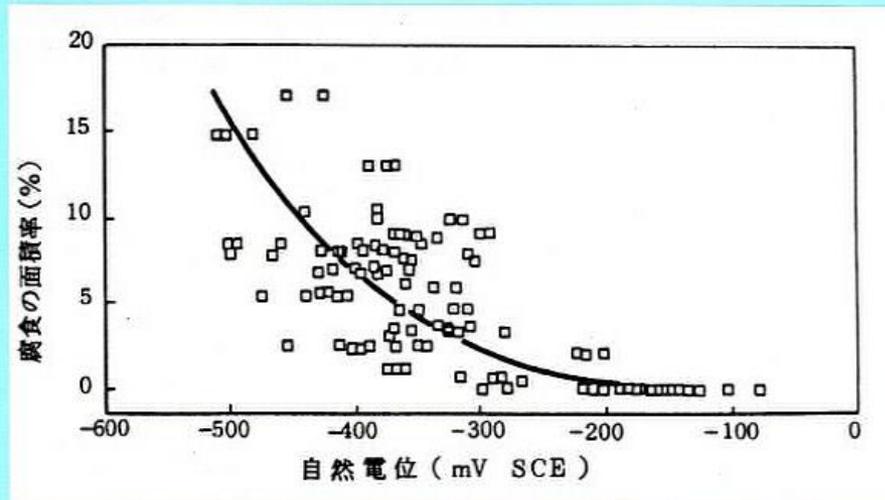
飽和硫酸銅電極に対する自然電位への換算

(JSCE-E 601-2018 コンクリート構造物における自然電位測定方法 (案))

使用した照合電極	飽和硫酸銅電極に対する自然電位 (E_{CSE})への換算式
飽和硫酸銅電極 (CSE)	$E_{CSE} = E_{CSE}$
飽和塩化銀電極 (SSE)	$E_{CSE} = E_{SSE} - 120 - 2.00 (t - 25)$
飽和カルメル電極 (SCE)	$E_{CSE} = E_{SCE} - 74.5 - 1.66 (t - 25)$
鉛電極 (PRE)	$E_{CSE} = E_{PRE} - 800 + 0.24 (t - 25)$

t : 温度 (°C)

自然電位の評価方法



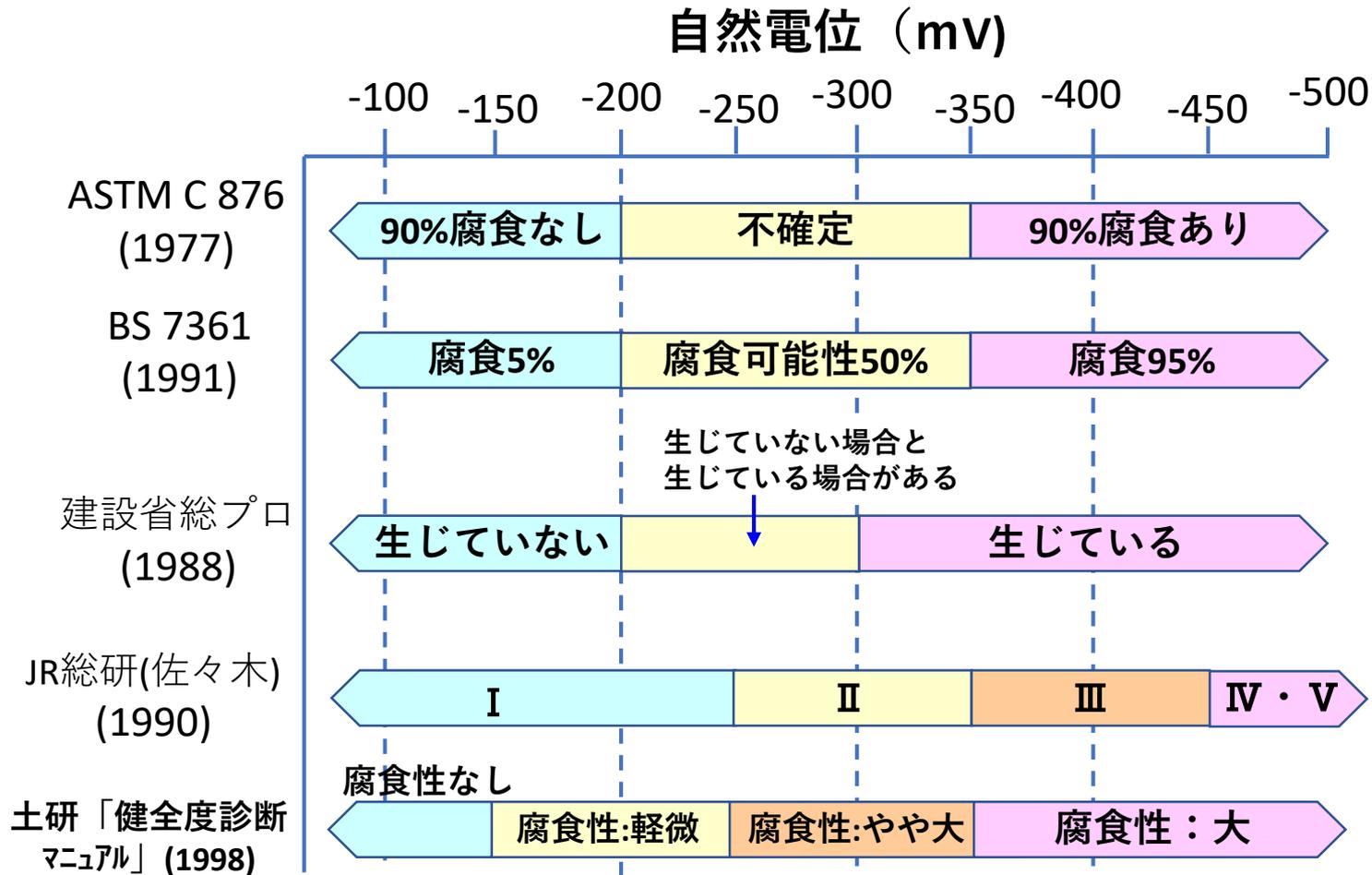
自然電位と鉄筋腐食の関係

測定電位の範囲	コンクリート中の鋼材腐食の可能性
$-200 \text{ mV} < E$	90 % 以上の確率で腐食なし
$-350 \text{ mV} < E \leq -200 \text{ mV}$	不確定
$E \leq -350 \text{ mV}$	90 % 以上の確率で腐食あり

(電位は飽和硫酸銅電極基準)

自然電位による腐食評価 ASTM C 876 (1977)

自然電位の評価方法



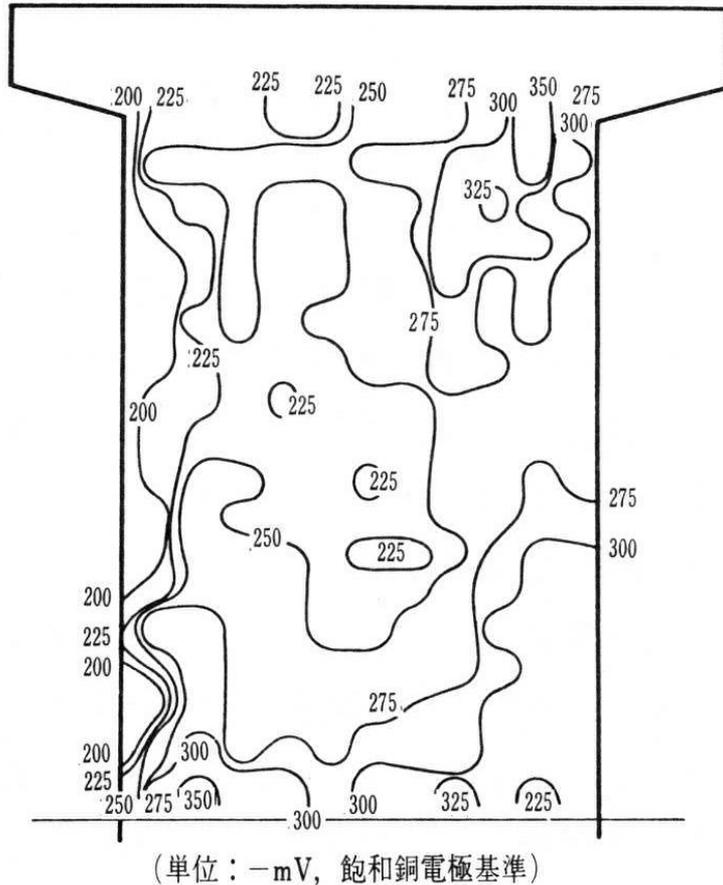
- [JR総研]
- I : 腐食ない
 - II : 表面にわずかな点錆
 - III : 薄い浮き錆、コンクリートに錆が付着
 - IV : やや厚みがある膨張性の錆、断面欠損は比較的少ない
 - V : 全体にわたり著しい膨張性の錆、断面欠損あり

自然電位の評価方法

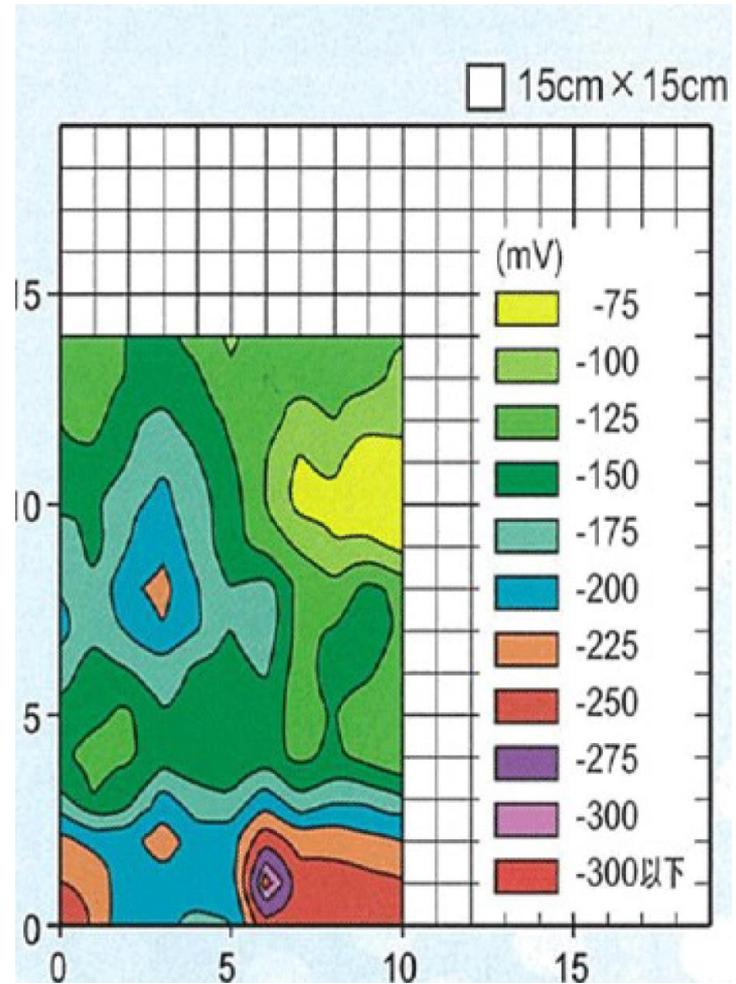
自然電位 E (mV : CSE)	腐食状態
$E > -150$	腐食を認めず
$-150 \geq E > -250$	点錆程度の表面的な腐食
$-250 \geq E > -350$	全体的に表面的な腐食
$-350 \geq E > -450$	浅い孔食等断面欠損の軽微な腐食
$-450 \geq E$	断面欠損の明らかな著しい腐食

近未来コンクリート研究会、コンクリートメンテナンス協会
小規模橋梁の簡易点検要領 (案)

自然電位の測定例



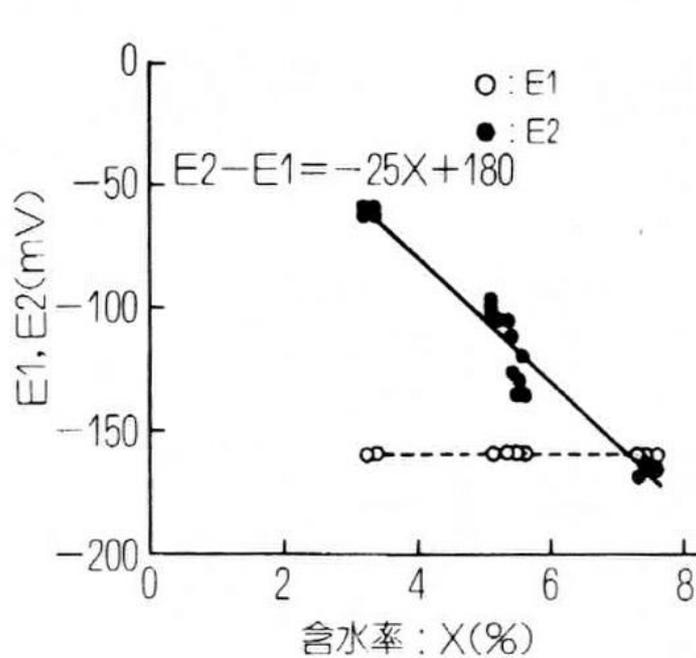
出典：土木学会，鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向，コンクリート技術シリーズ26



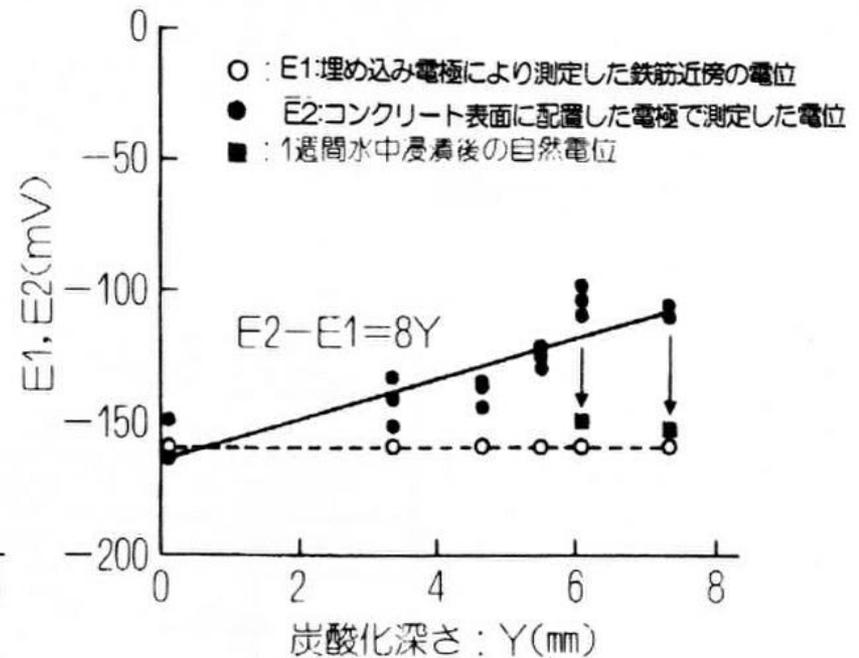
出典：(株) 太平洋コンサルタントHP

自然電位に対する影響要因

- ①含水率：含水率が大きいと、自然電位は卑
- ②炭酸化深さ：炭酸化深さが大きいと、自然電位は貴



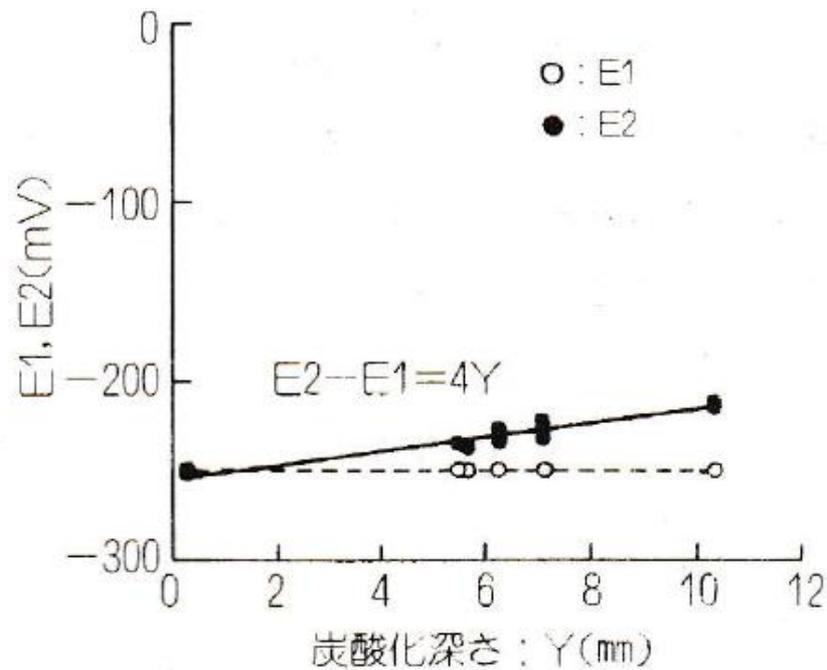
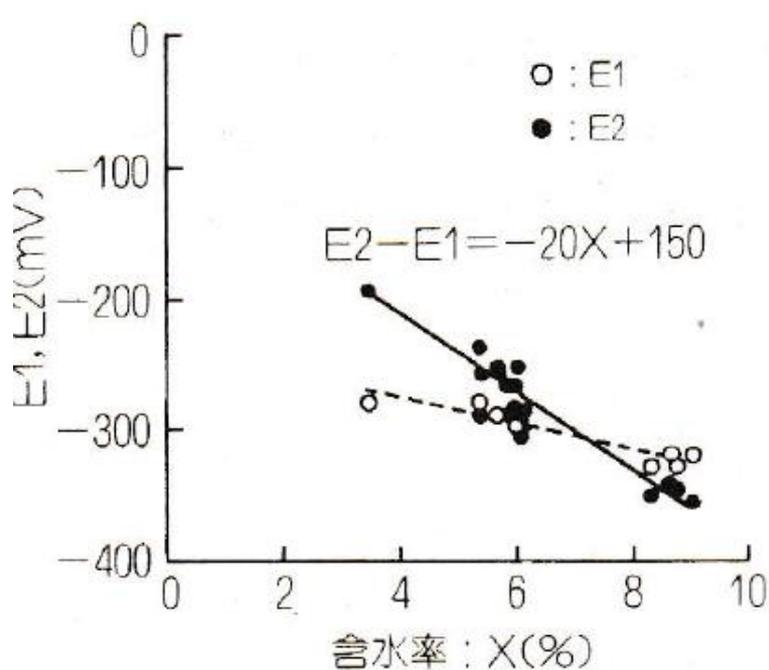
(a) 含水率による変化



(b) 炭酸化深さによる変化

塩化物イオンを含まない場合の自然電位の変化

③塩化物イオンを含む場合も、含水率、炭酸化深さの影響の傾向は同様



塩化物イオンを 3kg/m^3 含む場合の自然電位の変化

広島工大での実験(2018)



①みがき鉄筋入り供試体



②乾湿繰り返し、
屋外暴露

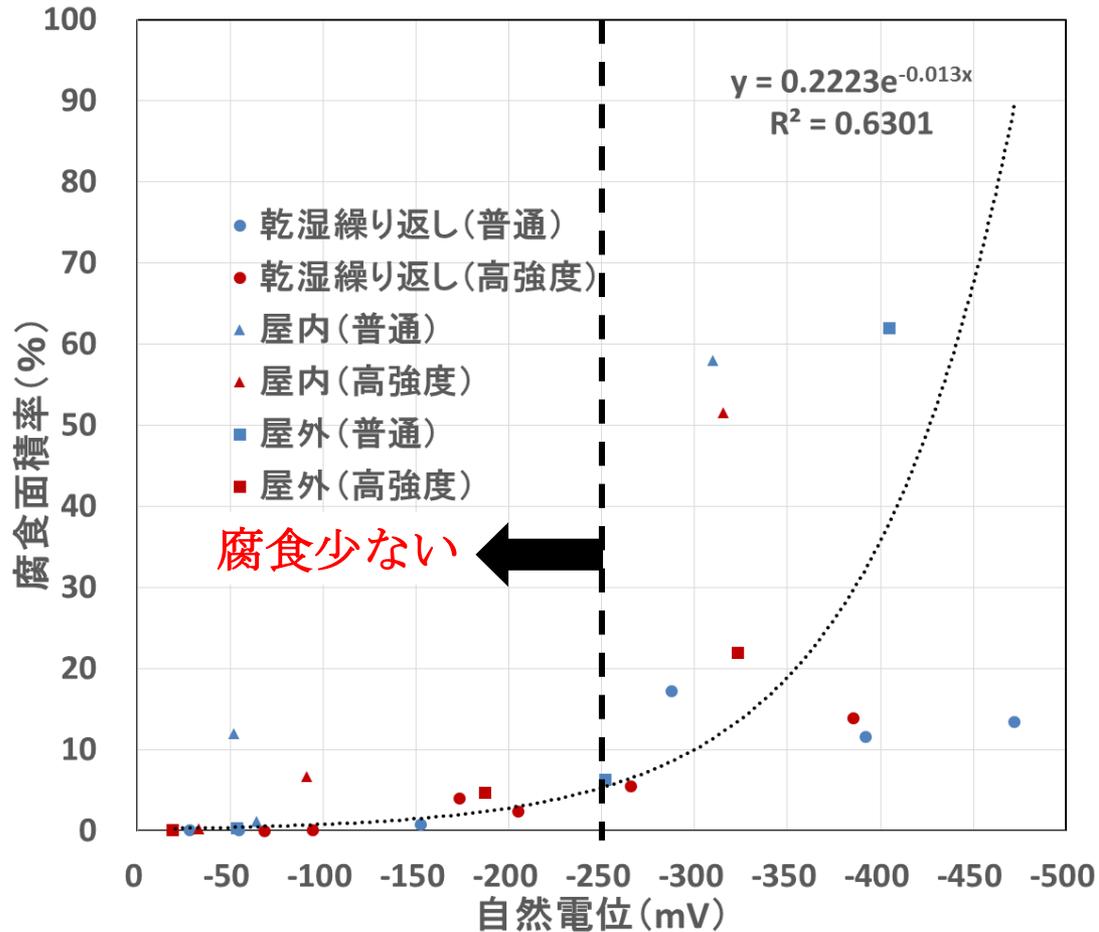


③自然電位測定
(携帯型鉄筋腐食診断器：四国総研SRiCM-V)



④鉄筋の腐食状況（暴露8ヶ月後）
（塩化物付与10kg/m³含有）

自然電位と腐食面積率の関係(暴露8ヶ月後)



自然電位測定の注意点

- ①鉄筋の腐食程度や腐食速度は測定できない。
 - ・調査時点での腐食の可能性について診断するもの

- ②測定できないもの
 - ・コンクリートが非常に乾燥している場合（電氣的絶縁）
 - ・コンクリート表面を塗装している場合（電氣的絶縁）
 - ・エポキシ樹脂塗装鉄筋、亜鉛めっき鉄筋（電氣的絶縁）
 - ・コンクリート表面が常に水で覆われている場合

- ③かぶりコンクリートの性状の影響を大きく受ける。
 - ・含水率、炭酸化深さ、塩化物イオン量など