

京都大学 学生会員 ○藤澤 真海

京都大学 学生会員 高谷 哲

京都大学 正会員 安 琳

京都大学 正会員 山本 貴士

京都大学 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

近年、既存の鉄筋コンクリート構造物において鉄筋腐食による耐久性能の低下が深刻な問題となっている。鉄筋コンクリートの腐食ひび割れ挙動を評価するためには、鉄の腐食生成物の弾性係数などの力学特性を考慮する必要がある。しかし、既往の複数の文献では幅広い値の弾性係数が報告されているのが現状である。

本研究では、鋼板上にある腐食生成物に着目し、その初期弾性係数およびポアソン比を4点曲げ載荷試験により推定し、この試験法の有用性を計る。それとともに、さまざまな環境が腐食生成物の弾性係数に与える影響を検討する。

2. 実験概要

実験の流れを図-1に示す。試験体は120×20×1.0mmの鋼板とした。実験要因を表-1に示す。鋼板の片面に約5週間の腐食試験(乾湿繰り返し、塩水散布)を行った直後、および気中、真空、乾燥環境下に2週間静置した後、載荷試験を行った。載荷条件を図-2に示す。スパン長L=100mm、せん断スパンa=30mm、曲げスパンd=40mmとした。腐食鋼板の載荷試験終了後、クエン酸水素二アンモニウム(以下、クエン酸)により腐食生成物を除去し、健全鋼板に再度載荷試験を行った。得られた荷重-スパン中央下縁ひずみ関係より、初期弾性係数およびポ

アソン比を推定した。腐食生成物の厚さは、載荷支点間29箇所を電磁誘導式膜厚計により計測し、その平均値とした。

式(1)より腐食生成物の初期弾性係数 E_r を、式(2)よりポアソン比 ν を推定する。

$$\frac{\epsilon_{b,s}}{\epsilon_{b,com}} = \left(1 + \frac{E_r I_r}{E_s I_s}\right) \cdot \frac{t_s/2}{h - h_{na}} \tag{1}$$

$$\nu = -\frac{\epsilon_{b,t}}{\epsilon_{b,l}} \tag{2}$$

ここで、 $\epsilon_{b,s}$ ：健全鋼板の下縁縦ひずみ、 $\epsilon_{b,com}$ ：腐食鋼板の下縁縦ひずみ、 E_s ：鉄の弾性係数、 t_s ：健全鋼板の厚さ、 h ：腐食鋼板全体の厚さ、 h_{na} ：腐食鋼板上面から中立軸までの距離、 $\epsilon_{b,t}$ ：腐食鋼板の下縁横ひずみ、 $\epsilon_{b,l}$ ：腐食鋼板の下縁縦ひずみ、である。

3. 実験結果および考察

3.1 腐食生成物と鋼板の厚さの測定結果および考察

塩水散布による腐食生成物の厚さ t_r は平均して0.203mm、乾湿繰り返しによるものは0.117mmとなった。しかし、 t_s がともに平均して0.87mm程度となったことから、腐食生成物の膨張倍率は、塩水散布よりも乾湿繰り返しの方が小さいと考えられる。また、乾湿繰り返しでは、 t_r と t_s の和 h が腐食前の鋼板厚さ1mmよりも小さいものが多かったことから、クエン酸によって腐食生成物と一緒に鋼板が溶出したことが考えられる。

表-1 実験要因

	直後	気中	真空	乾燥
乾湿繰り返し	3枚	3枚	3枚	3枚
塩水散布	3枚	3枚	3枚	3枚

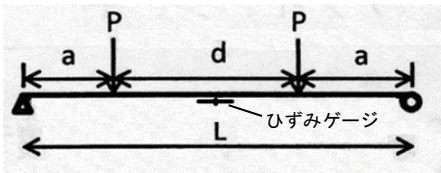


図-2 載荷条件

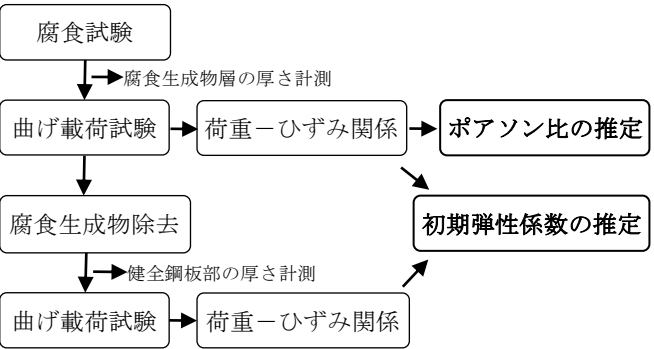


図-1 実験の流れ

3.2 初期弾性係数

式1より算出した初期弾性係数 E_r を表-2に示す。塩水散布による腐食試験体の初期弾性係数は、83.3GPaと5.8GPaを除いて、概ね40～60GPaに収まった。しかし、乾湿繰り返しによる腐食試験体では、285.7GPaを除いて10～170GPaと広範囲な値をとっている。塩水散布に関しては、各環境別に大きな違いが認められない。乾湿繰り返しに関しては、結晶化した黒さびと結晶化していない腐食生成物の層構造になっている部分の存在が、弾性係数のばらつきに寄与している可能性がある。乾湿繰り返しで多く生成したと考えられる Fe_3O_4 は、コンクリート中鋼材の腐食初期段階の腐食生成物であると考えられ¹⁾、表-2中で大きな値となっているものは、初期段階での弾性係数を表している可能性が考えられる。

3.1で述べたように t_s の値が小さくなると、鋼板の剛性が小さくなり、載荷時のひずみが大きくなる、あるいは、式(1)中の h 、 h_{na} の値に大きな影響が出ることで、最終的に E_r のばらつきにつながると考えられる。S1-01の荷重－縦ひずみ関係を図-3に示す。また、荷重－縦ひずみ関係の傾きの比 $\varepsilon_s/\varepsilon_{com}$ と E_r の関係を図-4に示す。 $\varepsilon_s/\varepsilon_{com}$ のわずかな違いが、算出される弾性係数に大きく影響することがわかる。

3.3 ポアソン比

式2より算出したポアソン比を表-2に示す。各腐食方法のポアソン比の平均値は、塩水散布で0.243、乾湿繰り返しで0.250となった。鉄のポアソン比は0.3であり、これより小さな値をとることが分かる。

4. 結論

- 1) 4点曲げ載荷試験により、鉄の腐食生成物の力学特性を求めることができた。
- 2) 塩水散布による腐食生成物の初期弾性係数は概ね40～60GPa、乾湿繰り返しによる腐食生成物の弾性係数は10～170GPaとなった。
- 3) 腐食生成物のポアソン比は塩水散布の場合0.243、乾湿繰り返しの場合0.250となり、鉄のポアソン比(0.3)と異なることが明確となった。

参考文献

- 1) 高谷哲ら：コンクリート中の鉄筋の腐食生成物の違いがひび割れ発生腐食量に与える影響，土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)，Vol.69，No.2，pp.154-165，2013

表-2 初期弾性係数とポアソン比

試験体		E_r (GPa)	ν
塩水散布	真空	S1-01	40.8
		S1-02	66.7
		S1-03	44.4
	乾燥	S1-04	58.8
		S1-05	57.1
		S1-06	83.3
	気中	S1-07	54.1
		S1-08	37.0
		S1-09	66.7
	直後	S1-10	5.8
		S1-11	62.5
		S1-12	62.5
乾湿繰り返し	真空	W1-01	125.0
		W1-02	166.7
		W1-03	13.2
	乾燥	W1-04	95.2
		W1-05	17.1
		W1-06	60.6
	気中	W1-07	285.7
		W1-08	44.4
		W1-09	64.5
	直後	W1-10	22.7
		W1-11	33.3
		W1-12	100.0

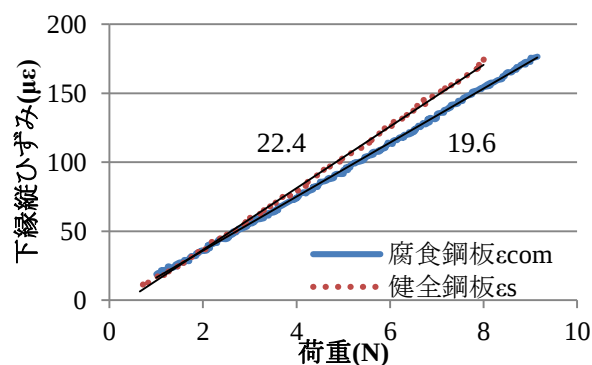


図-3 荷重－ひずみ関係 (S1-01)
(図中の数字は近似式の傾きを表す)

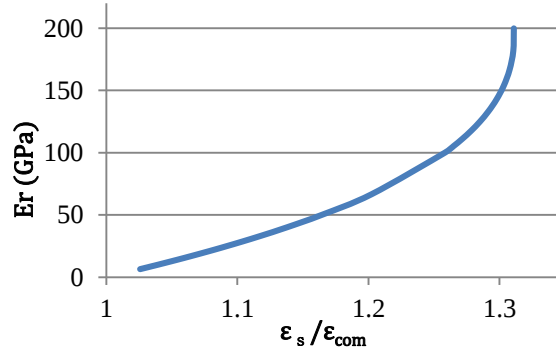


図-4 $\varepsilon_s/\varepsilon_{com}$ と E_r の関係 (S1-01)