

電磁誘導法および磁気法による鉄筋破断診断手法に関する研究

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○芳賀 堯
京都大学大学院 正会員 山本 貴士 正会員 服部 篤史 フェロー 宮川 豊章

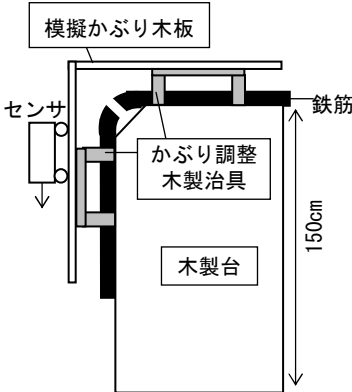


図1 測定台の概略図

表1 使用鉄筋一覧

かぶり (mm)	鉄筋径 (mm)	破断 ギャップ (mm)	破断面	鉄筋の 規格	本数 (本)	
50	16	1	カッター	市販品	2	
100					2	
150					2	
200					2	
100	13	1			2	
	22				2	
100	16	破断なし			2	
		亀裂 0(接触)			2	
		3			2	
		10			2	
		1			2	
		1			2	
100	16	1			サビ小 サビ大	2
100	16	1			低温脆性 水素脆化	2
					2	
100	16	1	低温脆性 水素脆化	2		
100	32	1	ASR破断	ASR 破断	3	
150			2			

1. 目的 本研究では、主として ASR による鉄筋破断を対象に、かぶり、鉄筋径、破断ギャップの寸法および、破断面の形態と腐食状況、鉄筋の規格が、電磁誘導法および磁気法による測定値に与える影響を把握するとともに、鉄筋破断診断手法について検討した。

2. 供試体概要 コンクリートを打設せずに、図1に示す木製測定台に固定した鉄筋を測定した。使用鉄筋一覧を表1に示す。1800mmの直線鉄筋を冷間（室温）曲げ加工した後、隅角部において、カッターによる切断に加え、実際に破断した鉄筋に近いサンプルを作製するために、低温脆性・水素脆化に着目した2通りの模擬破断方法も採用した。低温脆性破断は、鉄筋曲げ加工部を液体窒素に10分間浸せきし、曲げ戻して破断させた。水素脆化破断は、15% HCl 溶液に3時間浸せきし、曲げ戻して破断させた。また、カッターによる切断面を3% NaCl 溶液の乾湿繰り返し（乾燥と湿布による保湿各24時間を5および10サイクル、それぞれサビ小・サビ大）によって腐食させたもの、ASRで隅角部が実際に破断したものも用いた。

3. 測定の原理

(1) 電磁誘導法¹⁾ センサの励磁コイルより発生させた磁束を鉄筋に作用させ、反射した磁束を検出コイルで捉え、電圧波形として表す。2つの検出コイルを用いて得られた測定波形を対比することで不要信号を消去し、抽出された破断信号の振幅を解析値 A、2つの周波数を用いて同様に得られる振幅を解析値 B、原波形の描く湾曲部の角度を解析値 C とし、指標とした。

(2) 磁気法²⁾ 鉄筋が強磁性体であることを利用し、永久磁石を、鉄筋が埋設されているコンクリート表面上で鉄筋軸方向に数往復動かすことにより、鉄筋を着磁する。その後、コンクリート表面のコンクリート面に垂直な方向成分の磁束密度を高感度磁束センサで測定する。測定した磁束密度分布における鉄筋破断箇所付近に発生する漏洩磁束のピーク値、ピーク位置および磁束密度積分値を指標とした。

4. 測定結果および考察

(1) 各要因と電磁誘導法解析値 B および磁気法ピーク値の関係

各要因のうち、かぶりと電磁誘導法解析値 B および磁気法ピーク値の関係を図2に示す。かぶりと各指標には高い相関があり、また破断と健全の間に明確な差が確認できた。しかし、電磁誘導法ではかぶり 200mm において信号が弱く有効な測定波形が得られなかった。磁気法ではかぶり 50mm において値がばらついた。これは、センサが垂直方向以外の磁束密度成分も検知したためと考えられる。

(2) 各指標の信頼度・信頼性に関するパラメータの設定

図2等を用いて、各指標が有する判定の信頼度・信頼性を検討した。信頼度を評価するため、(A)破断と健全の差および(B)破断と健全の重複程度を、信頼性を評価するため、(C)変動係数をパラメータとした。図3に示すように、(A)は、健全時の指標（平均値）と破断時の指標（平均値）の差 a が破断時の指標（平均値）b キーワード ASR、鉄筋破断、電磁誘導法、磁気法

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C クラスターC1 棟 454 号室 TEL 075-383-3173

に占める割合(%)であり、この割合が大きいほど明確な判定が可能と考えられる。(B)は、健全時と破断時の要因による各変動幅の重複の割合(c/d, %)であり、この割合が小さいほど要因に依存しない判定が可能と考えられる。(C)は、同一条件の測定(N=4)における値である。これらのパラメータそれぞれにしきい値を設定し、表2に示すように◎*, ◎, ○, △の4段階で評価した。

(3) パラメータに基づく適用性および適用手法の検討

表2において、各手法で◎*の数が多い指標である電磁誘導法解析値Bおよび磁気法ピーク値を比較すると、(A)より、後者は前者より破断と健全の解析値の差が大きく、判定が容易であるといえる。また(B)より、前者はかぶりの変動に敏感であるため、測定前にかぶりを正確に把握しておく必要があると考えられる。さらに(C)より、前者は後者に比べてばらつきが小さく、再現性が高い。

以上をふまえて、実構造物において「破断か健全か、測定値に明確な差があらわれる指標を採用したい」という場合には(A)で評価が高い指標を、「鉄筋径が不明であるので、鉄筋径の変動に依存せず判定できる指標を採用したい」という場合には(B)の鉄筋径に対して評価が高い指標を選定する、というようにこの表を活用することができる。

5. 結論 鉄筋破断診断におけるパラメータの設定と、それに基づく両測定法の適用性の確認および適用手法の提案を行った。

謝辞 本研究の実施にあたりご助言・ご協力いただいた、株式会社国際建設技術研究所の葛目宏様、株式会社四国総合研究所の横田優様に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 葛目和弘, 金海鉦, 藤原規雄, 森雅司: コンクリートの補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第5巻, pp151-158, 2005
- 2) 松田耕作, 廣瀬誠, 前田龍己, 横田優: コンクリートの補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第6巻, pp425-430, 2006

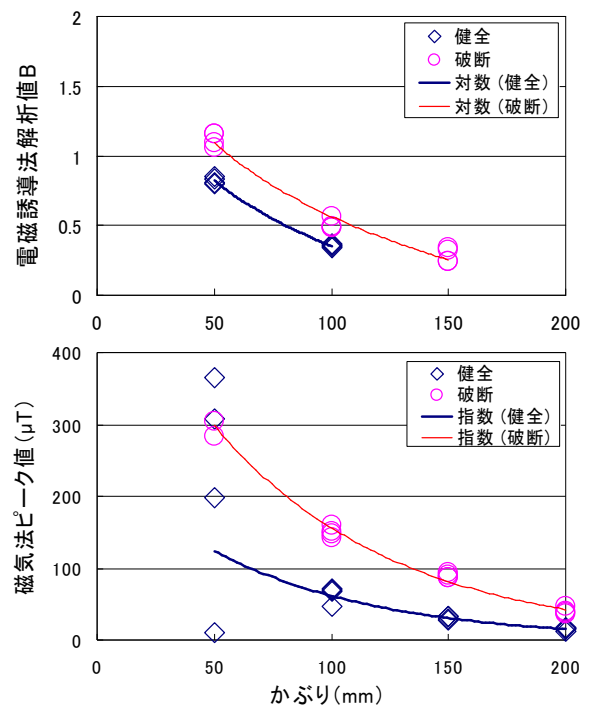


図3 かぶりと電磁誘導法解析値Bおよび磁気法ピーク値の関係

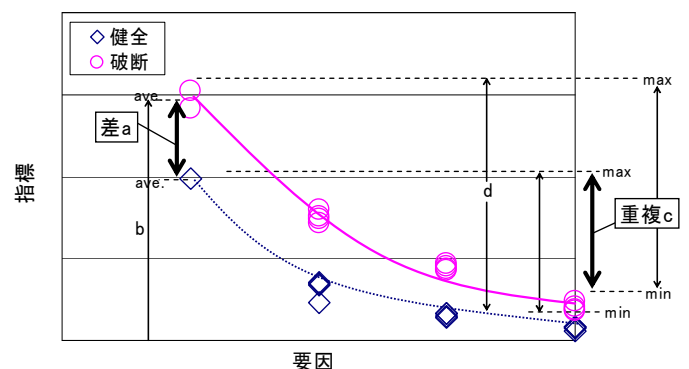


図4 信頼度に関するパラメータの設定

表2 各指標による信頼度・信頼性

(A)	電磁誘導法					磁気法						
	解析値A		解析値B		解析値C	ピーク値		ピーク位置		積分値		
かぶり	43.91	◎	28.53	○	20.08	○	61.90	◎*	-	△	64.29	◎*
破断ギャップ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
鉄筋径	31.71	◎	25.70	○	23.75	○	35.54	◎	-	△	36.33	◎
破断面	42.90	◎	22.80	○	27.00	○	58.35	◎*	-	△	56.60	◎*

(B)	電磁誘導法					磁気法						
	解析値A		解析値B		解析値C	ピーク値		ピーク位置		積分値		
かぶり	31.03	○	74.19	△	1.58	◎*	23.04	◎	49.68	○	25.87	◎
破断ギャップ	14.12	◎	2.10	◎*	14.27	◎	1.20	◎*	41.59	○	10.57	◎
鉄筋径	15.99	◎	0.00	◎*	53.19	○	0.19	◎*	68.06	△	6.84	◎*
破断面	0.00	◎*	4.97	◎*	0.00	◎*	0.00	◎*	65.38	△	0.00	◎*

(C)	電磁誘導法					磁気法						
	解析値A		解析値B		解析値C	ピーク値		ピーク位置		積分値		
かぶり	14.16	○	7.18	◎	6.39	◎*	10.25	○	8.32	◎	11.83	○
破断ギャップ	15.56	△	6.93	◎*	11.35	○	10.71	○	8.88	◎	10.54	○
鉄筋径	13.07	○	4.06	◎*	10.52	○	8.37	◎	9.50	◎	8.97	◎
破断面	11.84	○	7.51	◎	8.30	◎	5.64	◎*	4.98	◎*	4.50	◎*

	(A)%	(B)%	(C)%
◎*	50~	0~10	0~7
◎	30~50	10~30	7~10
○	10~30	30~60	10~15
△	~10	60~	15~