

ASR 劣化した PC 梁試験体の曲げ載荷試験時に破断した PC 鋼棒の破断原因調査

IHI インフラ建設 正会員 ○高木祐介 IHI インフラ建設 樋口泰久
IHI インフラ建設 正会員 廣井幸夫

1. はじめに

ASR により劣化した PC 梁構造物の曲げ耐荷性能を確認するため、PC 鋼棒φ23mm (SBPR930/1080) を配置した PC 梁試験体を製作し、曲げ載荷試験を行った (図-1)。試験体は、非反応性骨材のみを使用した健全試験体 A と、反応性骨材を使用した ASR 試験体 B1・C を製作した (表-1)。養生は、載荷試験前までに約 1.5 年間行い、健全試験体は暴露養生、ASR 試験体は温度 40℃、湿度 95%以上の恒温室にて、飽和 NaCl 溶液噴霧による ASR 促進養生を行った。なお、ASR 試験体 C は、促進養生前に PC グラウトを充填したが、健全試験体 A および ASR 試験体 B1 は、ロードセルにより緊張力の経時変化を測定するため、促進養生中は PC グラウトを充填せず、載荷試験の約 2 ヶ月前に PC グラウトを充填した。

曲げ載荷試験の結果、ASR 試験体 B1 以外は曲げ圧縮破壊したが、ASR 試験体 B1 は、曲げ圧縮破壊する前に PC 鋼棒が破断し、想定外の破壊に至った (写真-1)。そこで、本稿では PC 鋼棒の破断原因を検討するため実施した「破断面観察」、「腐食状況の確認」、「引張試験」について報告する。

2. PC 鋼棒の破断面観察

PC 鋼棒の破断面観察として SEM による破面形態の確認および SEM-EDX 分析による元素定性分析を実施した。破断面の外観写真を写真-2 に、SEM による破断面下側 (PC 梁試験体の下側) および破断面中央の観察写真を写真-3 に示す。観察の結果、腐食していた破断面下側は粒界破面、破断面中央はへき開破面を呈しており、破断は、腐食していた PC 鋼棒下側が起点となり、水素脆化または応力腐食割れにより脆性的に破断したと考えられる。

図-2 に、破断面下側および破断面中央の SEM-EDX による元素定性分析結果を示す。破断面下側は、破断面中央と比較し、腐食による酸素 (O) の増大が確認され、少量の塩素 (Cl) も検出された。

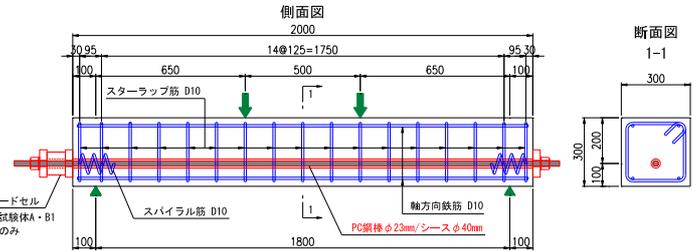


図-1 試験体概要図

表-1 試験体一覧

No.	種類	試験体名	ロードセルによる緊張力計測
1	健全	健全試験体 A	有
2	ASR	ASR試験体 B1	
3		ASR試験体 C	無



写真-1 ASR 試験体 B1 の破壊状況

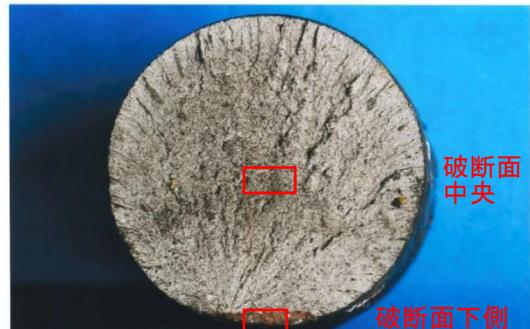
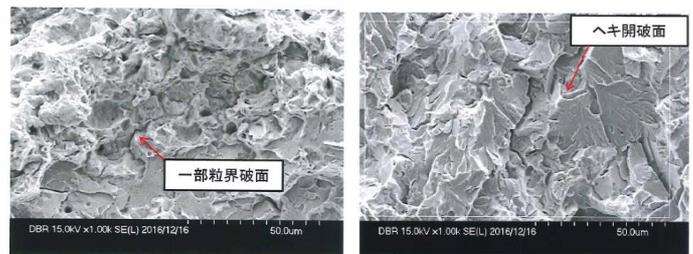


写真-2 破断面の外観写真



(a) 破断面下側 (b) 破断面中央

写真-3 SEM 観察写真

キーワード：ASR, PC 鋼棒, 破断, 腐食, 水素脆化, 応力腐食割れ

連絡先：〒135-0016 東京都江東区東陽 7-1-1 (株)IHI インフラ建設 TEL03-3699-2809

3. PC 鋼棒の腐食状況の確認

各試験体から、引張試験に使用する PC 鋼棒を 2 本(① 約 520~530mm, ②約 370mm) ハツリ出し、腐食状況を確認した。なお、PC 鋼棒は、載荷試験の影響が小さいと考えられる試験体両端部からハツリ出した。

表-2 に各 PC 鋼棒の腐食面積率(腐食表面積/全表面積)、断面残存率(最小断面積/公称断面積)を示す。また、写真-4 に ASR 試験体 B1 の PC 鋼棒の腐食状況を示す。ASR 試験体 B1 の PC 鋼棒①, ②は、その他の試験体の PC 鋼棒と比較し、腐食面積率は 68.1%, 53.8%, 断面残存率は 94.0%, 94.8%と著しく腐食していた。

4. PC 鋼棒の引張試験

PC 鋼棒の伸びおよび最大引張荷重を比較するため、引張試験を実施した。なお、PC 鋼棒①約 520~530mm は、JIS Z2241「金属材料引張試験方法」に従い、標点距離を 8D=184mm とし、PC 鋼棒②約 370mm は、長さが短いため、標点距離を 4D=92mm とした。

表-3 に各 PC 鋼棒の伸びおよび最大荷重の結果を示す。ASR 試験体 B1 の PC 鋼棒①, ②の伸びは、試験成績書の 10.0%に対し 0.4%, 1.1%と明らかに低下していた。また、最大荷重は、約 10%低下していた。

5. まとめ

ASR 試験体 B1 の PC 鋼棒の破断直前には、緊張力(ケミカルプレストレス含む) + 載荷により支間中央に約 0.6%の伸びが発生していた。ASR 試験体 B1 の PC 鋼棒は著しく腐食し、引張試験の伸びは 0.4%まで低下していたことから、腐食のカソード反応により生じた水素原子が鋼棒表面に吸着後、鋼棒中に侵入し、水素脆化または応力腐食割れにより破断した可能性が高い。

前記したように ASR 試験体 B1 は、ロードセルによる緊張力の経時測定のため促進養生中に PC グラウトを充填していなかった。試験体と PC 鋼棒用支圧板との隙間などの養生はしていたものの、SEM-EDX により破断面に Cl が検出されたことから、シース内に飽和 NaCl 溶液が侵入し、PC 鋼棒の腐食を促進した可能性が高い。今回の PC 梁試験体では、PC グラウトを充填せずに飽和 NaCl 溶液噴霧による ASR 促進養生を実施したことにより、PC 鋼棒が腐食し破断に至ったが、実際の PC 構造物においても PC グラウトの充填不良が報告されており¹⁾、特に沿岸地域や凍結防止剤が散布される地域では、ASR の進行とともに、PC グラウトの充填不良により PC 鋼材が腐食し、破断に至る危険性があると考え

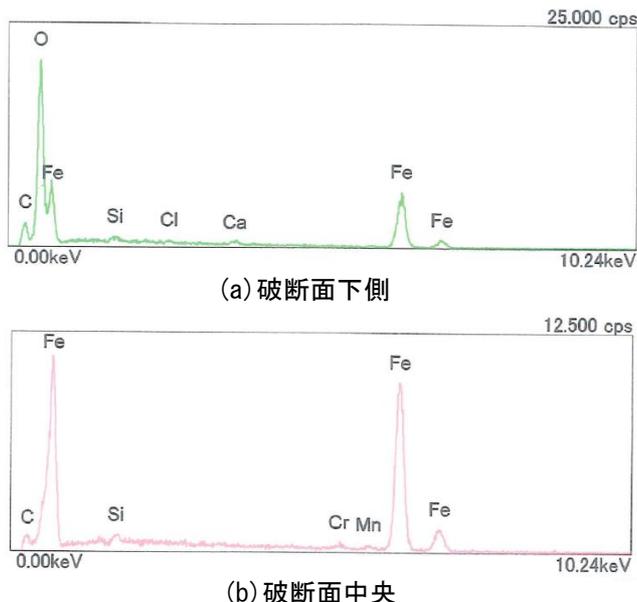


図-2 破断面下側の SEM-EDX 分析結果

表-2 PC 鋼棒の腐食面積率と断面残存率

試験体名	腐食面積率(%)	断面残存率(%)
A①	3.1	99.6
A②	3.7	99.6
B1①	68.1	94.0
B1②	53.8	94.8
C①	14.3	99.6
C②	1.0	99.6



写真-4 ASR 試験体 B1 の PC 鋼棒の腐食状況

表-3 PC 鋼棒の引張試験結果

試験体	標点距離 (mm)	伸び		最大荷重 (kN)
		mm	%	
A①	184.0	※	※	517.6
A②	92.5	10.6	11.5	522.0
B1①	183.9	0.7	0.4	458.0
B1②	92.3	1.0	1.1	464.4
C①	183.9	8.4	4.6	518.8
C②	92.8	12.1	13.0	516.0
試験成績書	184.0	18.4	10.0	514.0

※破断箇所が端部だったため、伸びは測定不可

られる。本稿が、PC グラウトの重要性を再確認する一事例となれば幸いである。

参考文献

1) (一社)プレストレス・コンクリート建設業協会: PC 構造物の維持保全, pp.10-11, 2015.3