

10.7 既設コンクリート道路橋の健全性評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（理事長特別枠）

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：村越潤、木村嘉富、田中良樹、
中村英佑

【要旨】

わが国の道路橋は今後急速に高齢化していくこととなるが、この中には塩害などの作用を受けて既に劣化損傷の顕在化したコンクリート道路橋も多くみられる。これらを効率的に維持管理していくためには供用可能性や補修・補強の要否について耐荷性能に基づいた合理的な判断を下す必要があるが、既設コンクリート道路橋の耐荷性能評価手法は確立されておらず早急な対応が必要とされている。本研究課題では、既設コンクリート道路橋の耐荷性能評価手法を提案することを目的として検討を行っている。平成 20 年度は、塩害を受けて撤去されたプレストレストコンクリート道路橋から採取した腐食 PC 鋼材の力学特性や促進腐食劣化させた RC および PC はり部材の耐荷特性について実験的に検討するとともに、コンクリート道路橋の代表的な損傷事例の現地調査を行った。キーワード：既設コンクリート道路橋、耐荷性能、維持管理、塩害、鋼材腐食

1. はじめに

今後、高度経済成長期に建設された多くの道路橋が急速に高齢化していくこととなるが、これらの中には塩害やアルカリ骨材反応などにより既に劣化損傷の顕在化したコンクリート道路橋も多くみられる。こうした既設コンクリート道路橋を効率的に維持管理していくためには、供用可能性や補修・補強の要否に対して耐荷性能に基づいた合理的な判断を下すことが必要である。しかしながら、劣化損傷の生じたコンクリート道路橋や古い年代の設計規準に基づいて架設されたコンクリート道路橋の耐荷性能を評価する手法は確立されておらず、早急な対応が必要とされている。そこで、本研究課題では、既設コンクリート道路橋を対象として、劣化損傷の生じたコンクリートや鋼材の力学特性を把握するとともに、損傷状況に応じたコンクリート道路橋の耐荷性能評価手法を提案することを目的として検討を行っている。

平成 20 年度は、塩害を受けて撤去されたプレストレストコンクリート道路橋(以下、PC 橋)から採取した腐食 PC 鋼材の力学特性や促進腐食劣化させた RC および PC はり部材の耐荷特性について実験的に検討した。また、ひび割れなどの損傷が発見された場合の対応の緊急度や補修・補強の要否の目安を現場で簡易に判定するための参考資料を作成することを目的として、既設コンクリート道路橋の代表的な損傷事例の現地調査を実施した。

2. 腐食 PC 鋼材の力学特性

2.1 検討概要

塩害により鋼材腐食の生じた PC 橋の耐荷性能を適切に評価するためには、腐食した PC 鋼材の力学特性を正確に把握しておくことが重要である。これまでも塩害を受けて撤去された PC 橋から採取した PC 鋼材を用いた試験が行われてきたが¹⁾、腐食による PC 鋼材の 3 次元的な断面欠損の分布や繰返し荷重が作用する場合の力学特性について検討した事例は必ずしも多くない。そこで、塩害を受けて撤去された PC 橋から採取した PC 鋼材の 3 次元的な断面形状の計測と引張試験、疲労試験を実施し、腐食した PC 鋼材の力学特性について検討した。

2.2 試験方法

試験片には、日本海沿岸で 34 年間の供用後に撤去されたポストテンション方式 PC 単純 T げた橋から採取した PC 鋼線(SMPR1 5mm)¹⁾を用いた。いずれの試験片も、試験前に JCI-SC1 に準拠して質量減少率を測定し、各試験片において目視で最も断面欠損が進んでいると思われた位置の断面径を事前にノギスで測定した。

引張試験は、質量減少率 0～40%の PC 鋼線 27 本を用いて行った。試験片は長さ 330mm とし、JIS Z 2241 に準拠して荷重と文献 1)と同様にアーム式の伸び測定器に取り付けたレーザー変位計により試験片中央 100mm の区間の伸びを測定した(図 - 1(a)参照)。また、3D スキャナを用いて PC 鋼線の断面形状を 3 次元的に計測し²⁾、除錆後

の断面形状の分布を把握した。3D スキャナ計測は、試験片の円周方向に1度、軸方向に0.6mmの間隔で実施し、事前に健全な試験片を用いて精度良く計測できることを確認した。なお、評点外(伸び測定区間外)で破断すると思われた試験片については事前に測定対象から除外したが、27本中7本は評点外で破断した。

一方、疲労試験は、健全なPC鋼線10本(目視で腐食が確認されなかったもの)と腐食したPC鋼線14本(質量減少率5%程度の腐食が生じていたもの)を用いて行った。試験片は長さ400mmとし、試験片のつかみ位置での破断を避けるため鋼製とナイロン製の定着具を用いた(図-1(b)参照)。載荷条件は、応力の下限値をPC鋼線の引張強度の約0.6倍(=960N/mm²)、応力振幅を200~500N/mm²(健全PC鋼線の公称断面積換算)、載荷速度を10kHzとした。試験片が破断するまで載荷することを基本としたが、一定の載荷回数で破断に至らなかった試験片については疲労限として載荷を停止した。

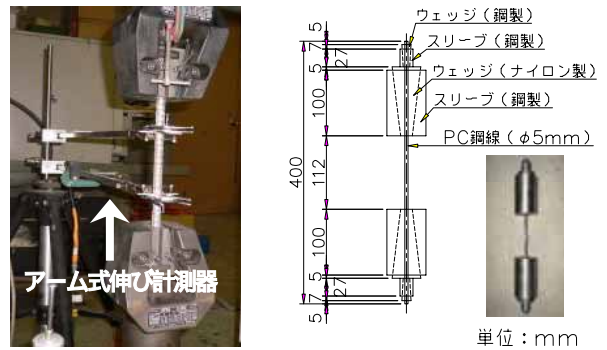
なお、ここで示す試験データは、腐食の有無にかかわらず、いずれも同一の撤去PC橋から採取した試験片を用いて行った試験から得られたものである。

2.3 試験結果および考察

(1) 断面形状の3次元計測と引張試験

引張試験の最大荷重残存率と断面欠損率の関係を図-2に示す。ここでは、最大荷重残存率を健全PC鋼線の平均値に対する腐食PC鋼線の試験値の比率で定義し、断面欠損率を1)質量減少率に応じて平均的に断面が欠損したと仮定した場合、2)ノギス測定による断面径を用いた場合、3)3Dスキャナ計測による最小断面積を用いた場合について求めた。腐食量に応じた低下直線は、最大荷重残存率が断面欠損率に比例して低下すると仮定した場合の最大荷重残存率と断面欠損率の関係である。

図-2によると、1)~3)のいずれの整理方法においても、最大荷重残存率は断面欠損率の増加とともに低下する傾向にあった。腐食量に応じた低下曲線の最も近傍に試験結果がプロットされたのは、断面形状を精密に計測可能な3Dスキャナを用いた場合であった。質量減少率を用いた場合は、試験片全体で平均的に断面が欠損していると仮定したため、局所的な欠損を適切に評価できなかつたと考えられる。腐食量が大きくなるほど断面欠損分布のばらつきも大きくなり、腐食量に応じた低下直線からの乖離も大きくなったと推察される。また、ノギスの測定値を用いた場合は、試験値を過大に評価する傾向にあった。ノギス測定では断面欠損の最も進んだ位置の断面積を精度良く測定できなかつたこと、測定値自体に測



(a)引張試験伸び計測例 (b)疲労試験定着具

図-1 腐食PC鋼材の試験方法の概略

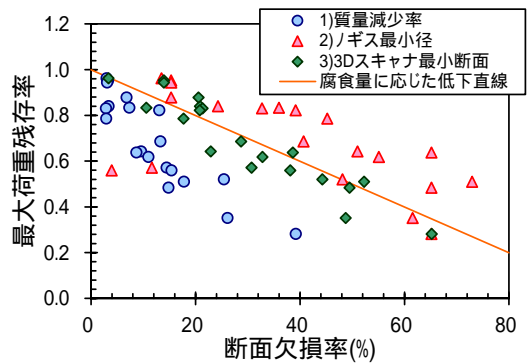


図-2 最大荷重残存率と断面欠損率

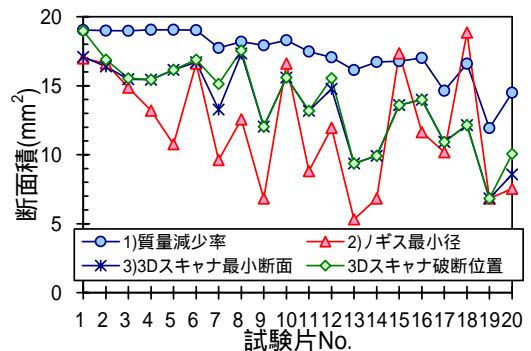


図-3 破断位置の断面積

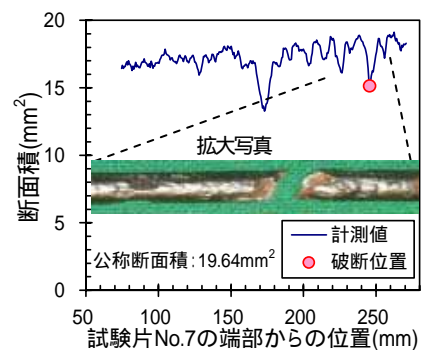


図-4 断面積分布と破断位置

定誤差が含まれていたことなどが原因として考えられる。3Dスキャナ計測による破断位置の断面積と1)~3)の

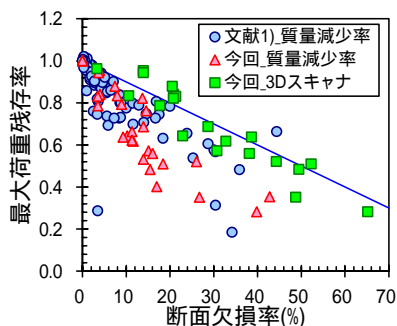


図 - 5 最大荷重残存率

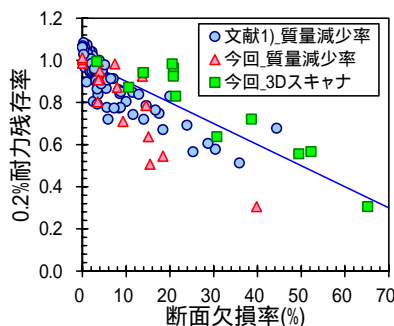


図 - 6 0.2%耐力残存率

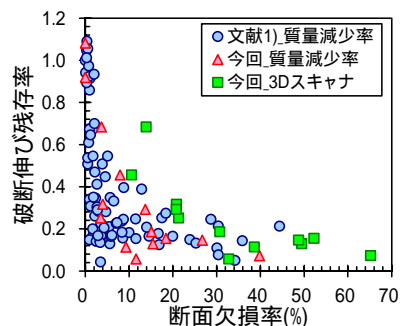


図 - 7 破断伸び残存率

整理方法で求めた断面積の関係を図 - 3 に示す。大部分の PC 鋼線で 3D スキャナ計測による最小断面と破断位置の断面積が一致しており、断面欠損の最も進展した位置で破断が生じることが多かった。質量減少率やノギス測定では、最小断面積を適切に把握できなかった。従って、図 - 2 では 3D スキャナを用いた場合に試験結果が腐食量に応じた低下直線の近くにプロットされたが、これは 3D スキャナの計測値が最小断面積を概ね適切に把握できていたためと考えられる。例外として、No.7 では 3D スキャナ計測による最小断面積と破断位置の断面積が若干異なったが、この原因は、図 - 4 に示すように、No.7 では断面欠損の進展した位置が幾つかあり、断面積が最小ではない位置で破断したためであった。一般に、塩害環境下のコンクリート中で生じる鋼材腐食は孔食により一部で局所的な断面欠損が進展する。このため、腐食量を平均的に示した質量減少率を用いるよりも PC 鋼材の断面形状に着目する方が腐食 PC 鋼材の力学特性を精度良く評価できると考えられる。

また、文献 1) と今回の試験結果を図 - 5、6、7 に示す。各指標の残存率は図 - 2 の最大荷重残存率と同様の方法で算定した。また、それぞれの残存率のグラフにおいて、横軸の断面欠損率として、文献 1) と今回の試験結果について質量減少率を用いて換算した場合、今回の試験結果について 3D スキャナ計測による最小断面積を用いて換算した場合について示した。3D スキャナ計測による最小断面積を用いた場合、最大荷重と 0.2% 耐力の残存率は断面欠損率に概ね比例して低下した。一方、伸び残存率は腐食の程度が僅かであっても急激に低下し、3D スキャナ計測による断面欠損率を用いると低下の程度がやや小さくなったが、最大荷重や 0.2% 耐力のように断面欠損率と比例関係にはなかった。鋼材腐食の生じた PC 橋の耐荷性能を評価する際には、PC 鋼材の強度の低下だけでなく伸び性能の低下にも注意する必要があると考えられる。

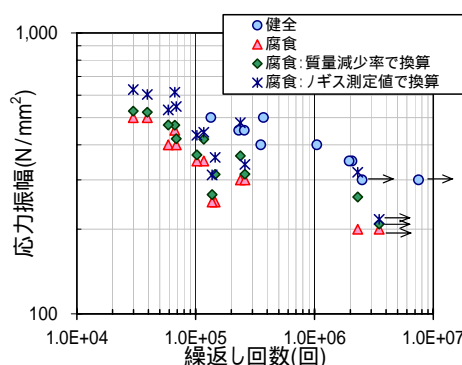


図 - 8 健全・腐食 PC 鋼線の S-N 線図

(2) 疲労試験

疲労試験で得られた S - N 線図を図 - 8 に示す。腐食 PC 鋼線の疲労強度は健全 PC 鋼線よりも低下する傾向にあった。また、ここでは腐食の有無にかかわらず健全 PC 鋼線の断面積から算出した応力振幅で繰返し载荷を行ったため、腐食により断面積が減少した PC 鋼線では設定した応力振幅よりも大きな応力が生じていた可能性が高い。このため、図 - 8 には質量減少率とノギスの測定値を用いて応力振幅を補正した結果も併記したが、この影響を加味しても疲労強度の低下は明確であった。この原因は、疲労試験では繰返し载荷により断面欠損位置に応力が集中し、静的な引張試験よりも明確に強度低下が生じたためではないかと推察される。

現行の道路橋示方書では、PC 橋の設計時に PC 鋼材の疲労の照査を直接的には行っていない。これは、PC 橋では設計荷重作用時にひび割れの発生を許容しておらず、PC 鋼材に生じる応力が小さいと考えられているためである。ひとつの試算によると⁴⁾、旧建設省の標準設計とほぼ同形状のポストテンション方式 PC 単純 T げた橋(支間 30m)で活荷重作用時に PC 鋼材に生じる応力は約 30N/mm²である。図 - 8 の試験結果を踏まえると、PC 鋼材に質量減少率換算で約 5%の腐食が生じているような場合においても、この程度の応力振幅の繰返し载荷では疲

劣による PC 鋼材の破断が深刻な問題となる可能性は低いと考えられる。

3. 腐食 RC はり部材の曲げ耐荷特性

3.1 検討概要

前章では、腐食の生じた鋼材の力学特性について検討を行ったが、コンクリート構造物はコンクリートと鉄筋が一体となって外力に抵抗する複合構造である。コンクリート内部の鋼材に腐食が生じると、鋼材の断面欠損やコンクリートと鋼材の付着の消失など耐荷性能に甚大な影響を及ぼすこととなる。そこで、電食により主鉄筋を人工的に腐食させた RC はり供試体を製作し、主鉄筋の腐食状態と曲げ耐荷特性の関係を検討した。

3.2 試験方法

図 - 9 に RC はり供試体の形状、表 - 1 にコンクリートと主鉄筋の材料試験結果を示す。主鉄筋の腐食が曲げ耐荷特性に与える影響を検討するため、3 本の主鉄筋の腐食量が質量減少率換算で 4 水準(0%(健全:通電なし)、3%、10%、20%)となるように電食により人工的に腐食させた。通電は材齢 31 日から開始し、3 本の主鉄筋を並列に接続して同時に行った。通電時間と電流量は、目標とする質量減少率に応じて設定した。主鉄筋の腐食以外の要因が曲げ耐荷特性に与える影響を排除するため、主鉄筋とスターラップを絶縁テープで絶縁してスターラップの腐食を防止し、組立筋には樹脂棒を用いた。

荷重方法は二点静的単調荷重とし、荷重が最大荷重の約 80%以下に低下するまで荷重した。荷重試験後に供試体を解体して主鉄筋を取り出し、JCI-SC1 に準拠して質量減少率を測定した後、ノギスを用いて 50mm 間隔で鉄筋径を測定した。供試体表面のひび割れは電食後と荷重試験後に記録した。

以下では、共通試験^{5), 6)}の一環として実施した主鉄筋 1 本(D13(SD345))を有する RC はり供試体 5 体(質量減少率 0、3、10、30%(2 体))の結果も交えて考察を行う。

3.3 試験結果および考察

(1) 主鉄筋の質量減少率と最小断面径

主鉄筋の質量減少率と最小断面径を図 - 10 に示す。各主鉄筋の質量減少率の実測値は目標値より若干高めとなる傾向にあった。また、目標とする質量減少率を大きくすると、中央の鉄筋の質量減少率が大きくなり、最小断面径が小さくなった。No.2~4 では通電時に中央の主鉄筋に沿って供試体下面に腐食ひび割れが発生して通電が容易になり、この部分で腐食が進展しやすくなったためと考えられる。

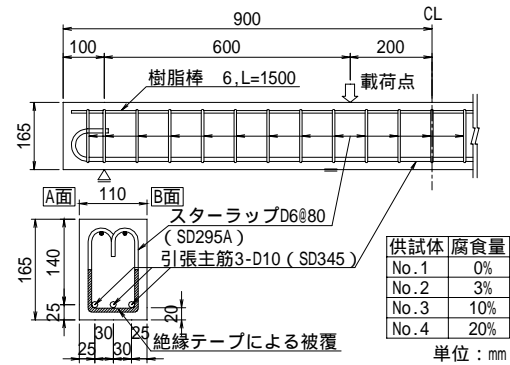


図 - 9 RC はり供試体の形状

表 - 1 コンクリートと主鉄筋の材料試験結果

供試体	コンクリート		主鉄筋	
	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
No.1	27.5	19.6	388	186
No.2				
No.3				
No.4	27.6	19.8		

コンクリートは荷重試験当日の試験結果

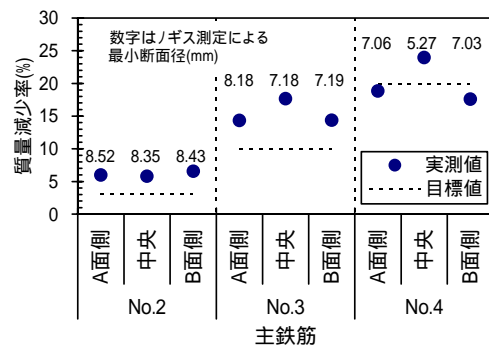


図 - 10 主鉄筋の質量減少率と最小断面径

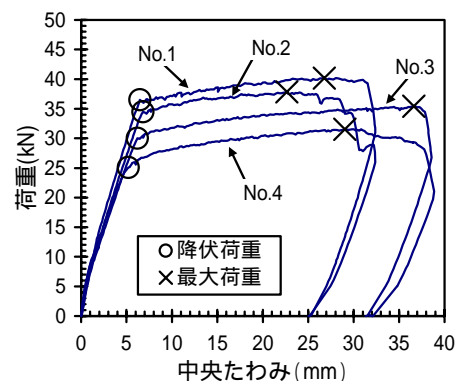


図 - 11 荷重 - 中央たわみ関係

(2) 荷重 - 中央たわみ関係

荷重と中央たわみの関係を図 - 11 に示す。初期剛性は質量減少率にかかわらず概ね等しくなったが、降伏荷重と最大荷重は質量減少率が大きい供試体ほど低下する傾

向にあった。また、残留たわみ(最大たわみと除荷後のたわみの差)は、質量減少率による差は小さく、全ての供試体で7mm程度であった。いずれの供試体の破壊モードも圧縮縁コンクリートの圧壊であり、主鉄筋の破断は生じなかった。

(3) ひび割れ発生状況

健全な No.1 と質量減少率の最も大きい No.4 のひび割れ図を図 - 12 に示す。電食後の腐食ひび割れは、No.2 ~ 4 で供試体の側面と下面において主鉄筋に沿って発生していた。載荷時には、No.1 では曲げひび割れが等間隔で発生したが、No.4 では曲げひび割れの分散性が若干低下した。載荷時の腐食ひび割れ幅の計測結果によると、No.4 の腐食ひび割れは載荷時に開口していたことを確認しており、健全な No.1 と比べて供試体内部の応力発生状態が異なっていたと考えられる。

(4) 降伏荷重と最大荷重

図 - 13 に質量減少率と降伏荷重比および最大荷重比の関係を示す。各荷重比は、健全供試体の降伏荷重および最大荷重に対する腐食供試体の各荷重の比率とした。主鉄筋を3本とした供試体の質量減少率は3本の平均値を用いた。この結果、質量減少率が大きくなるほど降伏荷重比および最大荷重比は小さくなる傾向にあり、質量減少率と各荷重比は概ね比例関係にあったと考えられる。また、主鉄筋の本数の違いが降伏荷重と最大荷重の低下傾向に及ぼす影響は大きくなかった。

今回の載荷試験で主鉄筋が破断する供試体は存在しなかったが、共通試験^{5), 6)}の一環として他機関で試験を行った供試体の中には主鉄筋の質量減少率が概ね25%以上の供試体で主鉄筋が破断するものが多くみられた。これらでは最大荷重が大幅に低下し、必ずしも主鉄筋の質量減少率で耐力の低下を予測することができなかった。主鉄筋の腐食の程度が比較的軽微な場合には RC はり部材の曲げ耐力は主鉄筋の質量減少率で概ね推定できるが、PC 鋼線と同様に異形鉄筋においても腐食が生じると伸び性能が大きく低下することが確認されており⁷⁾、腐食の程度が著しい場合には主鉄筋が破断して耐力が大幅に低下することも起こり得ることに注意が必要である。

4. 腐食 PC はり部材のせん断耐力特性

4.1 検討概要

鋼材腐食の生じた PC はり部材の破壊抵抗曲げモーメントについては、撤去 PC げたの載荷試験^{8), 9), 10)}により PC 鋼材の残存率を用いて概ね推定できることが明らかにされている。ところが、鋼材腐食の生じた PC はり部材

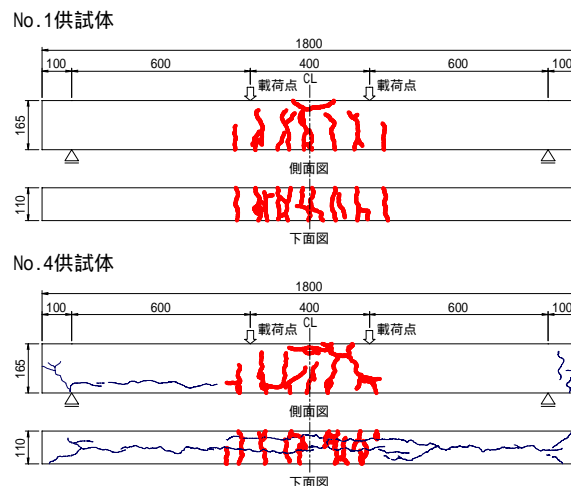


図 - 12 ひび割れ図 (電食後: 細線、載荷後: 太線)

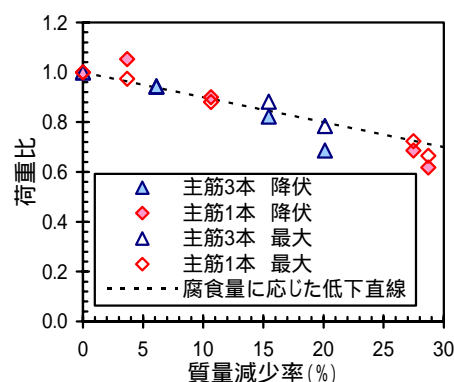


図 - 13 質量減少率と降伏・最大荷重比

のせん断耐力特性については、これまで検討が行われていなかった。そこで、電食により人工的に鋼材腐食を生じさせた PC はり供試体を製作し、鋼材腐食の生じた PC はり部材のせん断耐力特性について検討した。

4.2 試験方法

図 - 14 に PC はり供試体の形状、表 - 2 にコンクリートと鋼材の材料試験結果を示す。プレストレスは、プレテンション方式により材齢4日で導入した。載荷試験時の No.1 の断面下縁の有効プレストレスを PC 鋼より線 B、E に設置したひずみゲージの計測値から算出したところ、 4.4N/mm^2 であった。

No.2 では、材齢23日から鋼材の質量減少率の目標値を20%として電食により腐食を促進させた。通電範囲は、載荷点から支点までの両側のせん断スパン内の PC 鋼より線(図 - 14 の B を除く 5 本)とせん断補強鉄筋(図 - 14 の S2 ~ S6 の 5 本)を対象とした。腐食ひび割れの発生による圧縮側コンクリートの損傷がせん断耐力機構に与える影響を排除するため、圧縮側には PC 鋼より線を配置せず、段取り筋に樹脂棒を用いた。

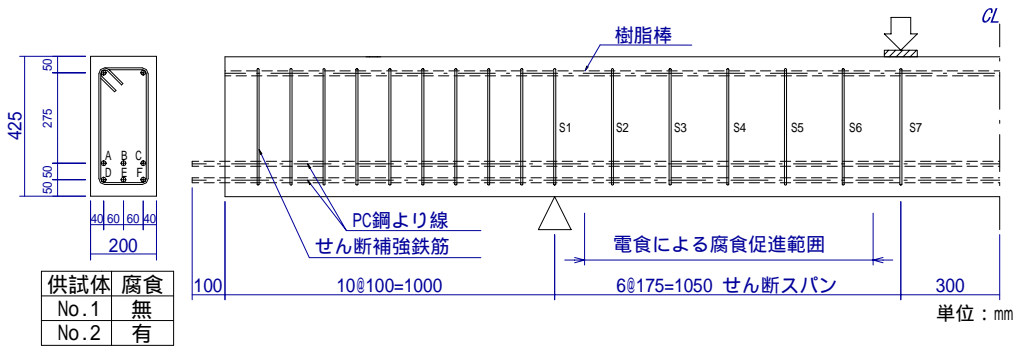


図 - 14 PC はり供試体の形状

表 - 2 コンクリートと鋼材の材料試験結果

供試体	コンクリート			PC 鋼より線 SMPR7BL-15.2mm		せん断補強鉄筋 SD295A-D6	
	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
No. 1	58.0	31.2	3.6	1774	215	355	193
No. 2	58.7	30.5	3.8				

コンクリートは載荷試験当日の材料試験結果

載荷方法は二点静的単調載荷とし、載荷プレートは幅 100mm の鋼板を用いた。載荷試験後に供試体を解体し、腐食によるコンクリートの損傷状況とせん断スパン内の PC 鋼より線とせん断補強鉄筋の腐食状態を目視観察するとともに、JCI-SC1 に準拠して質量減少率を測定した。ひび割れ観察は、電食終了後と載荷試験時に行った。

4.3 試験結果および考察

(1) 破壊モード

いずれの供試体も、せん断破壊で終局に至った。せん断スパン内にせん断ひび割れが生じた後、荷重の増加とともに支点と載荷点に向かってひび割れが進展し、これが載荷点付近の上縁コンクリートを貫通すると同時に荷重が急激に低下した。また、No. 2 の載荷試験中には PC 鋼より線が破断する音が数回にわたって聞こえた。載荷試験後の解体調査でせん断スパン内の PC 鋼より線が数ヶ所で破断していたことを確認しており、腐食により PC 鋼より線の伸び性能が低下したためと考えられる。

No. 2 では終局時に図 - 15 に示すようにせん断ひび割れより下側の側面と下面のかぶりコンクリートが全て剥落した。載荷試験後の解体調査では、隣接するせん断補強鉄筋の間のコンクリートが錆汁で変色していたことを確認した。すなわち、No. 2 では腐食ひび割れが隣接するせん断補強鉄筋の間のコンクリートを貫通するような形で発生しており、載荷試験前からかぶりコンクリートが浮いた状態にあったのではないかと考えられる。

(2) 荷重 - 中央たわみ関係

図 - 16 に、各供試体の中央たわみと作用せん断力の関



図 - 15 終局時の No. 2 供試体

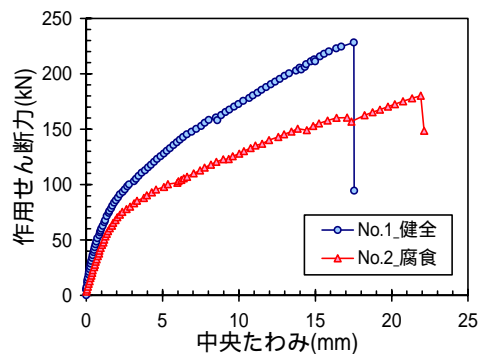


図 - 16 荷重 - 中央たわみ関係

係を示す。No. 2 では、健全な No. 1 と比較して作用せん断力の最大値が約 8 割に低下しており、鋼材腐食によりせん断耐力が低下したことを明確に確認することができた。また、載荷開始から作用せん断力 50kN 程度までの範囲では両供試体の剛性は概ね同程度であったが、その後は No. 2 のたわみが大幅に増加した。前章で示した RC はり供試体の試験結果では、主鉄筋に質量減少率換算で約 20% の腐食が生じても降伏荷重に至るまでの剛性の変化

表 - 3 せん断耐力の計算値と試験値の比較

供試体	せん断耐力の計算値(kN)				作用せん断力の試験値(kN)		
	Vc	Vp	Vs	VucaI	ひび割れ発生時		最大値
					曲げ	せん断	
No.1	91	25	39	155	41	113	228
No.2	65 (0.67)	-	31 (0.80)	96 (0.62)	43 (1.05)	105 (0.93)	180 (0.79)

()内はNo.1に対する比率

はほとんど生じなかった。PC はり供試体で剛性に大幅な変化が生じた原因としては、No.2 ではPC 鋼より線の腐食および腐食ひび割れの発生によりコンクリートと PC 鋼より線の付着が失われてせん断スパン内のプレストレスが低下していたこと、腐食ひび割れの発生とかぶりコンクリートの浮きにより実質的な供試体断面が小さくなっていったことなどが考えられる。

(3) せん断耐力とひび割れ発生状況

表 - 3 にせん断耐力の計算値と試験値を示す。No.1 のせん断耐力の計算値(VucaI)は、せん断補強鉄筋を用いない鉄筋コンクリートはりのせん断耐力算定式¹¹⁾からコンクリート負担分のせん断耐力(Vc)、プレストレスによるせん断耐力の増加(Vp)¹²⁾、圧縮斜材角を 45 度と仮定したトラス理論からせん断補強鉄筋負担分のせん断耐力(Vs)を求め、これらを足し合わせた値とした。一方、No.2 のVucaI は、せん断補強鉄筋が腐食して腐食ひび割れが発生していたためこれより外側のかぶりコンクリートが全て剥落して供試体断面が縮小したと仮定してVcを求め、腐食により残存プレストレスが明確でなかったためVpを無視し、目標質量減少率 20%の腐食がせん断補強鉄筋に生じていると仮定してVsを求め、これらを足し合わせた値とした。また、ひび割れ発生時の試験値は、曲げとせん断によるものと思われるひび割れをそれぞれ目視で確認した時点での作用せん断力である。

No.2 のせん断耐力は健全な No.1 の約 8 割に低下したが、曲げひび割れとせん断ひび割れを確認した際の作用せん断力は両供試体で同程度であった。しかし、図 - 17 のひび割れ図を参照すると、両供試体ではひび割れの発生位置と進展順序が大きく異なっていた。No.1 では、まず等曲げ区間の断面下縁に概ね等間隔で曲げひび割れが発生し、次にせん断スパン内にせん断ひび割れが発生して支点と載荷点に向かって進展し、最終的にはこれが載荷点付近の上縁コンクリートを貫通して終局に至った。一方、No.2 では、最初の曲げひび割れは等曲げ区間ではなくせん断スパン内に発生した。その後、No.1 と同様にせん断スパン内にせん断ひび割れが発生し荷重の増加とともに支点と載荷点に向かって進展したが、その角度は

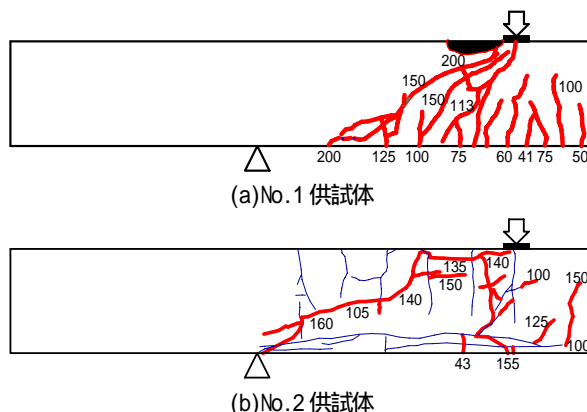


図 - 17 ひび割れ図 (細線：電食後、太線：載荷後)
数字はひび割れ発生時の作用せん断力(kN)

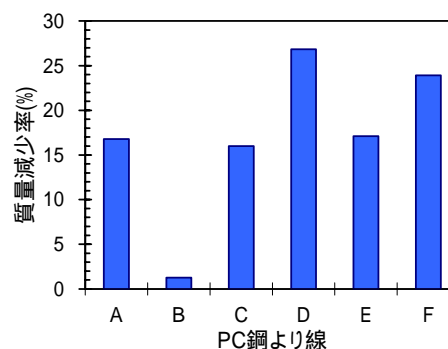


図 - 18 PC 鋼より線の質量減少率

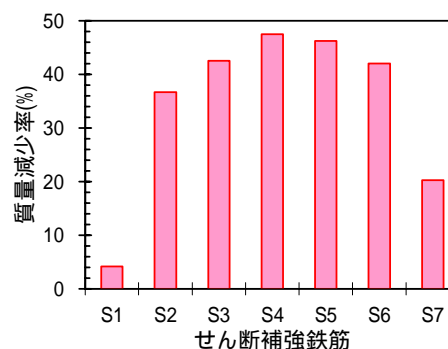


図 - 19 せん断補強鉄筋の質量減少率

No.1 に比べて小さくなった。また、No.2 では電食後に PC 鋼より線とせん断補強鉄筋に沿った腐食ひび割れが発生しており、載荷試験時の曲げひび割れ本数は少なく、ひび割れの分散性も低下した。

一般に、コンクリートはり部材のせん断耐力は、コンクリートと主鉄筋もしくは PC 鋼材の付着によって形成されるビーム機構とアーチ状のコンクリートストラットによって形成されるアーチ機構によって負担される¹³⁾。No.1 では、せん断ひび割れの進展位置は支点よりも内側のせん断スパン内に留まっており、せん断スパン内でアーチ機構が形成されていたと考えられる。一方、No.2 では、せん断スパン内の PC 鋼より線が腐食してコンクリートと PC 鋼より線の付着が消失しており、定着部の健全な PC 鋼より線を起点としたアーチ機構が形成されたために、せん断ひび割れの進展位置が支点よりも外側の定着部にまで及んだと考えられる。従って、定着部の PC 鋼より材に腐食が生じているような場合には、せん断耐力は今回の試験結果よりも低下する可能性がある。また、せん断耐力の計算値は作用せん断力の最大値よりも大幅に小さくなったが、これは計算値を求める際に設定した仮定がいずれも安全側であり、せん断耐力を過小に評価する傾向にあったためと考えられる。

先に述べたように No.2 では腐食により載荷試験前からかぶりコンクリートが浮いた状態にあったと考えられるが、内側のコンクリートのみでせん断ひび割れが進展した場合には目視検査でひび割れの発生を確認できなくなる可能性もある。しかし、載荷試験後の解体調査によると、せん断ひび割れはせん断補強鉄筋の内側のコンクリートだけでなく、同一のものがかぶりコンクリートにも発生していた。このため、今回の試験結果によると、目視点検を適切に行うことでせん断ひび割れの発生の有無を確認できる可能性があることがわかった。

(4) 鋼材の腐食状態

PC 鋼より線とせん断補強鉄筋の質量減少率の測定結果を図 - 18、19 に示す。No.2 では、PC 鋼より線は B を除く 5 本、せん断補強鉄筋は S2 ~ S6 の 5 本を電食対象としていた。このため PC 鋼より線 B に腐食は生じていなかったが、クエン酸二アンモニウム水溶液に浸漬した際に PC 鋼より線がわずかに溶出して質量が若干減少したようである。PC 鋼より線 D と F の質量減少率が大きくなったが、これはこれらの直上の供試体下面と側面で腐食ひび割れが発生し通電が容易になったためと考えられる。また、せん断補強鉄筋では、電食対象とした S2 ~ 6 の質量減少率が大きく、隣接する S1 と S7 にも通電して腐食が生じていた。S2 ~ S5 では引張側断面の曲げ加工部が消失しており、PC 鋼より線と比較して質量減少率が大きくなる傾向にあった。なお、せん断スパン外の PC 鋼より線とせん断補強鉄筋には腐食は生じていなかった。

5. まとめ

本研究課題では、既設コンクリート道路橋を対象として、劣化損傷の生じたコンクリートや鋼材の力学特性を把握するとともに、コンクリート道路橋の耐荷性能評価手法を提案することを目的として検討を行っている。平成 20 年度に得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 腐食した PC 鋼材の引張強度は腐食による断面の欠損状態を 3D スキャナにより精密に計測することで適切に評価できたが、PC 鋼材の伸び性能は腐食の程度が軽微なものであっても大幅に低下した。
- 2) 腐食した PC 鋼材の疲労強度は健全な PC 鋼材よりも低下したが、その低下の程度は実際の PC 橋で生じる応力振幅からすると軽微であった。
- 3) 腐食の生じた RC はり部材の曲げ耐力は、主鉄筋の腐食量によって概ね推定することができ、主鉄筋の本数の影響は大きくなかった。
- 4) 腐食の生じた PC はり部材のせん断耐力は、PC 鋼材やせん断補強鉄筋の腐食およびこれに伴うかぶりコンクリートの剥離により大幅に低下した。また、せん断スパン内の PC 鋼材とせん断補強鉄筋に腐食が生じた場合には、健全な PC はり部材と比較して剛性が大幅に低下し、ひび割れの発生パターンも異なった。

参考文献

- 1) 国土交通省土木研究所：塩害を受けた PC 橋の耐荷力評価に関する研究()-塩害により損傷を受けた PC 鋼材の機械的性質-、土木研究所資料第 3810 号、2001
- 2) 大屋戸理明、金久保利之、山本泰彦、飯島亨：実橋造物の調査結果に基づく腐食鉄筋の力学性状の評価、土木学会論文集部門 E、Vol.63、No.1、pp.143-155、2007
- 3) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編] 2008
- 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：やさしい PC 橋の設計、2002
- 5) 三方康弘、中村英佑、小林孝一、黒田一郎、下村匠：鉄筋腐食 RC はり供試体に関する共通試験による曲げ耐荷特性の検討、コンクリートの補修、補強、アップグレードシンポジウム論文報告集、Vol.8、pp.383-390、2008
- 6) T. Yamamoto, H. Hamada, Y. Mikata, E. Nakamura, M. Oyado and T. Shimomura: Benchmark test on load-carrying behavior of RC member deteriorated by corrosion of reinforcing steel, Proceedings of the International Workshop on Life Cycle Management of Coastal Concrete

10.7 既設コンクリート道路橋の健全性評価に関する研究

Structures, 2008

- 7) 土木学会:材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能、コンクリート技術シリーズNo.71、2006
- 8) 国土交通省土木研究所:塩害を受けたPC橋の耐荷力評価に関する研究()-プレテンションPC桁の載荷試験-、土木研究所資料第3808号、2001
- 9) 国土交通省土木研究所:塩害を受けたPC橋の耐荷力評価に関する研究()-旧暮坪陸橋の載荷試験-、土木研究所資料第3809号-、2001
- 10) 国土交通省土木研究所:塩害を受けたPC橋の耐荷力評価に関する研究()-旧芦川橋の載荷試験-、土木研究所資料第3816号、2001
- 11) 二羽淳一郎、山田一宇、横沢和夫、岡村甫:せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集、第372号/V-5、pp.167-176、1986
- 12) 建設省土木研究所、プレストレスト・コンクリート建設業協会:高強度コンクリート部材の設計法に関する共同研究報告書-高強度コンクリートを用いたプレストレストコンクリート道路橋の設計指針(案)-、共同研究報告書第138号、1995
- 13) Park, P., Pauly, T.: Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, New York, 1975

STUDY ON LOAD-CARRYING CAPACITY OF EXISTING CONCRETE BRIDGES

Abstract : Highway bridges built during the period of high economic growth will become old all together in Japan. Some existing concrete bridges have already showed deterioration signs such as corrosion and cracking. The soundness evaluation based on their structural performance is strongly required for the rational judgment of their serviceability and necessity of repair or retrofit. This research project aims to propose the evaluation method of structural performance for existing concrete bridges. In this fiscal year, corroded strands taken from the prestressed concrete bridge demolished due to the severe chloride attack were tested for their mechanical behavior. Additionally, the load-carrying capacity of corroded reinforced and prestressed concrete beams was investigated.

Key words : existing concrete bridges, load-carrying capacity, maintenance, chloride attack, corrosion