

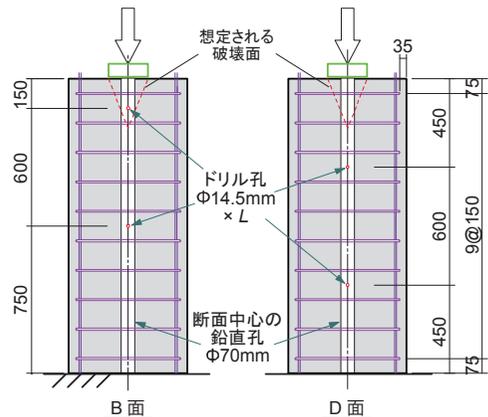
PC定着部付近におけるドリル削孔の影響に関する実験的検討

(国研) 土木研究所 正会員 ○田中 良樹
 (国研) 土木研究所 工修 石田 雅博
 (国研) 土木研究所 博士(工学) 村越 潤
 (国研) 土木研究所 工修 吉田 英二

1. はじめに

道路橋桁端部は、狭隘なため湿気がこもりやすい上に、場合により塩分を含む水が伸縮装置から漏水することなどにより、腐食しやすい部位である。著者らは、鋼橋、コンクリート橋を問わず、既設橋桁端部の腐食対策として、腐食環境の改善方法、劣化調査方法および補修方法について検討を行っている^{1),2)}。コンクリート橋に関して、国内では沿岸部の飛来塩分による著しい塩害事例が多く見られるが、今日、凍結防止剤の散布に起因した塩害事例の報告も徐々に増加しつつある。特に、プレストレストコンクリート(PC)橋の桁端部は、PC鋼材の定着部が集中して、高い圧縮応力を含む、複雑な応力状態にある。このため、やむを得ず調査の試料採取や補修のはつりを行う場合に、作業員の安全の確保および橋自体の安全の確保が不可欠である。

PC橋の黎明期である1950～60年代に、PC鋼材の定着部付近のひび割れ事例が多く見られたため、定着部付近の応力解析、支圧耐力評価やひび割れ防止のための配筋方法に関する研究が行われた³⁾⁻⁵⁾。それらの研究成果や経験による知見を踏まえて、定着体周囲の配筋やディテールが改善された。しかし、PC桁端部における削孔やはつりがそれらの安全に及ぼす影響は明確でない²⁾。その検討の一つとして、ドリル削孔の影響を把握するため、PC主桁の桁端部を模擬したコンクリート供試体3体を製作して、その側面に深さの異なるドリル孔を削孔したのちに局部圧縮載荷試験を行った。



単位：mm
 注) ドリル孔の深さLはそれぞれ 80, 40, 0mmとした。

図-1 供試体の形状寸法と載荷方法

2. 試験方法

図-1に供試体の形状寸法と載荷方法を示す。供試体の断面は600mm×600mmとした。断面の中心に、PCダクトを想定したφ70mmの貫通鉛直孔を設けた。供試体の幅600mm、載荷面積200mm×200mmは、それぞれ支間30m程度のPCT桁における端部の幅とPCの定着板を実寸で模擬した。また、帯鉄筋の径と間隔も、同PC桁の桁端部付近のスターラップ(D10, SD295A)を模擬した。

表-1に、コンクリートの材料試験結果を示す。帯鉄筋の降伏点と降伏ひずみは、3本の引張試験より、それぞれ368N/mm²、1960×10⁻⁶であった。表-2に3体の供試体におけるドリル孔の寸法と位置を示す。供試体D-80、D-40ともに、B面とD面にそれぞれ上縁からの距離を変えて計4箇所ドリル孔を設けた。ドリル孔の

表-1 コンクリートの材料試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)	ポアソン比	割裂引張強度 (N/mm ²)	材齢 (日)
載荷前	20.4	18.8	0.152	2.1	101
載荷後	20.4	17.5	0.159	2.3	109

注) 3体の載荷試験の載荷前および載荷後のデータは、いずれも供試体と同じ養生によるコア3本の平均値

表-2 供試体の種類と最大荷重

供試体	側面のドリル孔寸法	ドリル孔の位置* (mm)	最大荷重 (kN)
D-80	φ14.5mm × 80mm	B面 150, 750	1930
D-40	φ14.5mm × 40mm	D面 450, 1050	(2030)
D-00	なし	—	(2030)

注1) *孔中心の位置、上縁からの距離
 2) 括弧内は終局破壊なし

直径は14.5mmとし、深さを80, 40, 0mm (削孔なし) の3種類とした。ドリル孔は、打設前にφ14mmの鋼製パイプを配置してコンクリートに先導孔を設けておき、脱型後にφ14.5mmのドリルで本削孔を行った。なお、いずれの供試体においても、上面と側面の角部に鉛直方向の初期ひび割れが見られた (のちに図-3で示す)。また、供試体D-80およびD-40のドリル孔のうち、B面、上縁から150mmにおけるドリル孔で、孔の下縁に接する水平方向の初期ひび割れが見られた。

図-1に示したとおり、上端の中央に厚さ40mm, 200mm×200mmの正方形の鋼板を配置して、鉛直荷重を静的に載荷した。載荷には2000kN万能試験機を用いた。載荷中、載荷点における変位をはじめ、各部のひずみなどを測定した。上縁から5段目までの帯鉄筋のひずみは、各段ごとに四辺の各中央で測定した。コンクリートのひずみは、供試体表面にひずみゲージ (基長60mm) を貼り付けるとともに、鉛直孔の内面のコンクリートひずみを測定するため、基長10mmのひずみゲージを治具を用いて周方向に貼り付けた。載荷点の変位は、載荷板四辺の各中央側面に設置したカンチレバー変位計で測定して、その4点の平均値を用いることとした。載荷板の設置面および底面の不陸を調整するため、それぞれの間に石膏を敷いた。載荷試験後、コンクリートカッターにより供試体を輪切り状に切断して、内部のひび割れ状況を調査した。

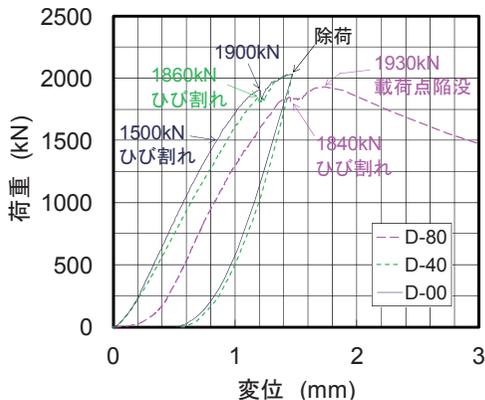
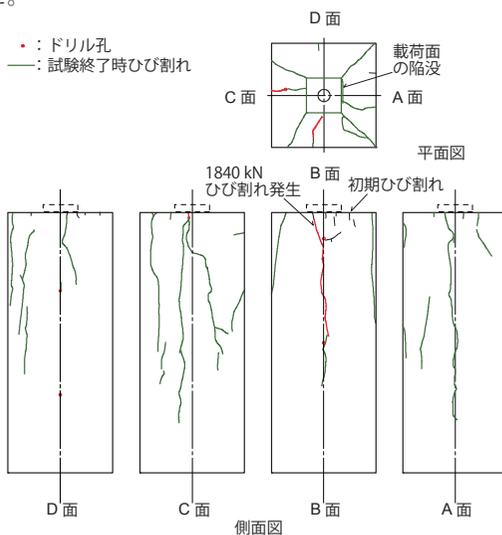
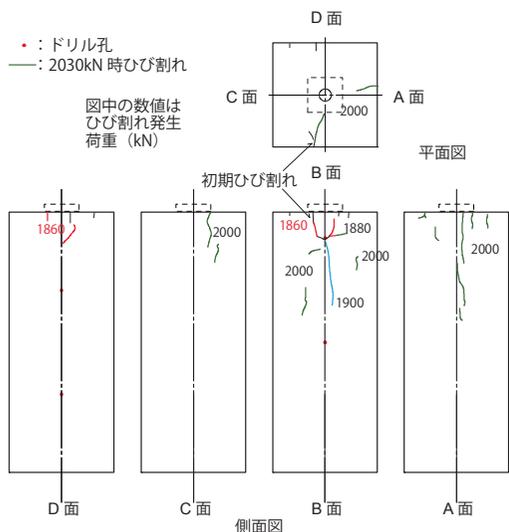


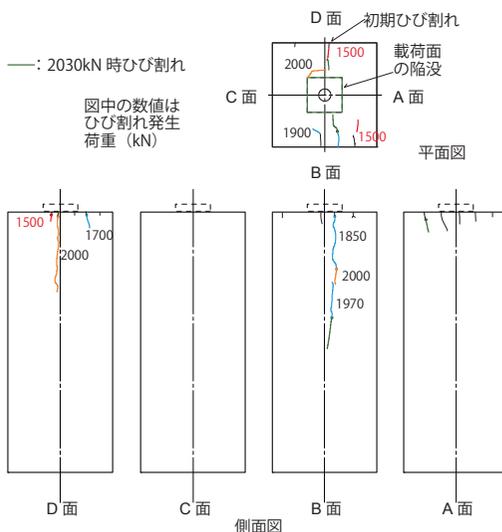
図-2 荷重と載荷点変位の関係



(a) D-80



(b) D-40



(c) D-00

図-3 コンクリート表面のひび割れ

3. 結果

図-2に、荷重と載荷点変位の関係を示す。また、図-3に各供試体の表面のひび割れ状況を示す。供試体D-80は、試験終了時のひび割れ

状況を示す。供試体D-80は、1840kNで側面B面に鉛直方向のひび割れが発生し、1930kNで最大荷重に達した。その時点で、載荷板の周囲にコンクリートの陥没が見られるとともに、急激にひび割れが増加した。ピーク後の載荷によって、それぞれのひび割れの幅や段差が大きくなったり、鉛直方向に多少進展したりした。ひび割れ図としては、試験終了時のひび割れはピーク直後の状況とほとんど差がない。供試体D-40は、1860~1900kNの間で鉛直方向のひび割れが発生した。供試体D-00は、1500kNから上縁付近に軽微なひび割れが見られ、1850kNで鉛直方向のひび割れが発生した。供試体D-40、D-00は、2030kNでピークに近い挙動を示していたが、試験機の容量のため明確な荷重低下には至らなかった。このため、供試体D-40、D-00は、上限荷重2030kN時のひび割れを示した。供試体D-00は、D-80ほど明確ではないが、載荷板周囲の陥没が発生し始めていた。供試体D-40には陥没が見られなかった。

表-3に、各供試体のドリル孔付近におけるひび割れの有無を示す。供試体D-80は、B面、上縁から150mmのドリル孔付近で鉛直方向のひび割れが見られたが、表面のドリル孔縁から離れていた。解体調査の結果、ドリル孔の奥でひび割れが発生していた。供試体D-40は、B面、上縁から150mmのドリル孔付近の初期ひび割れとつながるひび割れが発生したのち、そのドリル孔近傍から下方に向かってほぼ鉛直にひび割れが進展した。

図-4に、各供試体の1500kN時について、各側面、4辺それぞれの中央におけるコンクリートの水平方向ひずみの鉛直分布を示す。各供試体ともに、上縁から225mmまたは375mm（それぞれ2段目または3段目の帯鉄筋位置）において、引張ひずみが大きい傾向が見られた。

図-5に、各供試体のB面、2段目帯鉄筋のひずみ（鉄筋の内側と外側の平均値）の変化を示す。この測定位置は、B面、上縁から150mmに設けたドリル孔の直下であり、鉄筋ひずみを測定した範囲で、供試体間の鉄筋ひずみの変化がもっとも明確に見られた箇所である。2段目帯鉄筋の4辺の平均ひずみでは、1800kNまで供試体間の顕著な差が見られなかったが、図-5に示したB面のひずみだけで見ると、ドリル孔が深くなるに従って、ひずみの増加が早い傾向にあった。また、約1800kNで荷重がほぼ横ば

表-3 ドリル孔のひび割れ

ドリル孔の位置	供試体 D-80	供試体 D-40
B面, 150	あり**	あり**
D面, 450	あり	あり*
B面, 750	あり	なし
D面, 1050	なし	なし

注) *は孔下縁に初期ひび割れあり
*は孔内部の軽微なひび割れ

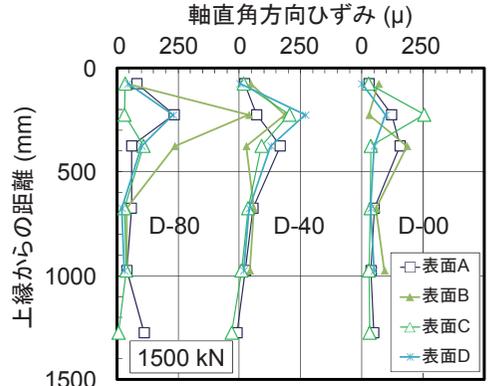


図-4 側面コンクリート表面の水平方向ひずみの鉛直分布 (1500kN時)

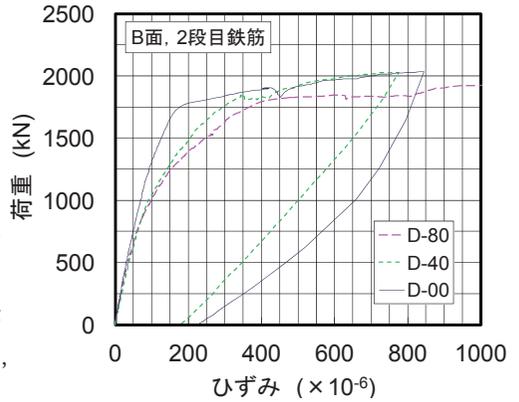


図-5 B面、2段目帯鉄筋のひずみ

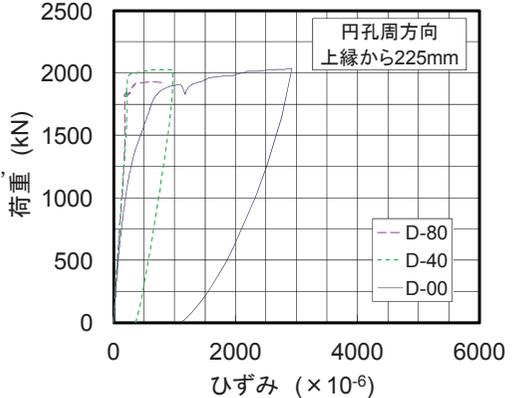


図-6 φ70mm 鉛直孔の内面の周方向コンクリートひずみ (4点の平均)

いになったのち、再び荷重が増加するまでのひずみの増分が、ドリル孔が深いほど大きい傾向が見られた。供試体D-00の結果については荷重横ばいの範囲が分かりにくいですが、ここでは、供試体D-80、D-40のような荷重が横ばいというまでの挙動はほとんどなかったと判断した。

図-6に、上縁から225mmにおけるφ70mm鉛直孔内面の周方向ひずみ(4点の平均値)の変化を示す。ドリル孔のないD-00のひずみ増分は、比較的小さい荷重の段階から大きくなったが、D-80、D-40は、約1800kNまで顕著な変化が見られなかった。この位置での周方向ひずみの変化に関する供試体間の差は、鉄筋ひずみの変化と概ね逆の傾向であった。

4. コンクリートの支圧による破壊過程とドリル削孔の影響

本試験の供試体のように、局部的に高い支圧を受けるコンクリートでは、図-1に示した載荷板直下の破壊面に沿って、コーン状に破壊することが知られている⁵⁾。著者らの既往の試験²⁾でも、同様の破壊形態が確認された。それらの点を踏まえて、図-7に、供試体D-80の支圧による破壊の過程を模式的に示す。元のコンクリートは一体であるが、文献5)と同様に、載荷面積×高さで構成されるコア部とその周囲の拘束部に分けて考える。供試体D-80では、上縁から225~375mmの辺りを中心に拘束部を押し広げる挙動を示し、コンクリートの表面や帯鉄筋に引張ひずみが生じた。荷重が増すと、コンクリート表面に支圧に伴う水平方向の曲げによりひび割れが生じた(図-7の①)。D-80の解体調査では、コンクリート表面のひび割れ深さが、上縁を除き、ほとんどが100~150mmの範囲であったことから(1箇所のみ180mm)、拘束部に水平方向の曲げが作用していたと考えられる。その後荷重が若干増加したが、拘束部のひび割れによって拘束効果が低下して、コア部の破壊、すなわち載荷面の陥没、コーン状の破壊が生じたと考えられる(図-7の②、③)。コーン状の破壊の際、載荷板の角から拘束部の隅角部を押し広げるように大きいひび割れが同時に発生した。載荷面の陥没は、これまでの試験²⁾では、コーン状の破壊と同時に生じるものと思われたが、供試体D-00では、コーン状の破壊が見られず、載荷面の軽微な陥没のみが見られた。このことから、コーン状に破壊する前に、載荷面の陥没が生じることがわかった(図-7の②)。

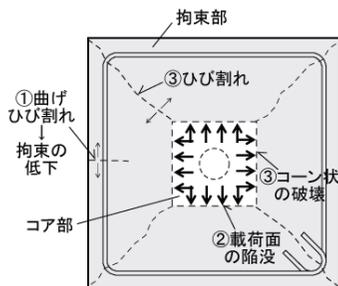


図-7 供試体 D-80 の支圧による破壊過程(上から見た模式図)

本試験におけるドリル孔は、支圧に伴う曲げを受ける拘束部コンクリートの引張域にあることから、拘束部の曲げひび割れを誘引すると思われた。しかし、3体の供試体の試験では、いずれも曲げひび割れ発生荷重がほとんど変わらず、ドリル孔による曲げひび割れ発生への顕著な影響が見られなかった。一方、ドリル孔の深さに応じて、曲げひび割れ後の拘束効果の低下の程度に差が見られ(例えば、図-5の荷重横ばい区間の差)、また支圧耐力にも影響が見られた。ドリル孔の深さに応じて拘束部コンクリートの引張軟化特性が変化して、これらの結果に影響を及ぼした可能性があると考えられる。

5. まとめ

側面のドリル孔の深さが異なる3体のPC桁端部を模擬した供試体を用いて、局部圧縮載荷試験を行った。側面のドリル孔は、局部載荷における拘束部コンクリートのひび割れ発生にほとんど影響しなかったが、ドリル孔が深いほど、そのひび割れ発生後の拘束効果の低下が速い傾向が見られた。

参考文献

- 1) 村越潤, 田中良樹, 藤田育男, 坂根泰, 田中健司, 植田健介: 既設コンクリート道路橋桁端部の腐食環境改善への取り組み, 土木技術資料, 55-11, pp.29-34, 2013. 11.
- 2) 田中良樹, 木村嘉富, 村越潤, 吉田英二: PC定着部への削孔の影響に関する実験的検討, 第22回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.317-322, 2013. 10.
- 3) 藤井学: PCに対する設計上の諸問題(静定構造), プレストレストコンクリート最近の進歩, 昭和41年度講習会テキスト, 土木学会関西支部, pp.37-56, 1966. 11.
- 4) 六車照, 岡本伸: 局部荷重を受けるコンクリートの支圧強度に関する研究, プレストレストコンクリート, 5-5, pp.22-29, 1963. 10.
- 5) 藤井学: 支圧強度に対する補強効果の理論的考察, 土木学会第26回年次学術講演会概要集, V, pp.73-76, 1971. 10.