

純曲げモーメントが作用する RC 隅角部の耐力に関する数値解析的検討

大成建設(株) 正会員 ○村田 裕志

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺 健, 中田 裕喜

1. はじめに

RC ボックスカルバートなどの隅角部 (L 形部材接合部) では, その耐力や破壊メカニズムが十分に整理されているとは言えない. 筆者らは, この隅角部の破壊挙動について実験的, 解析的検討を実施してきた¹⁾²⁾. その結果, 正載荷時 (内側引張時) に発生する斜め方向の割裂ひび割れの発生とその開口が, 隅角部破壊での靱性に大きく影響することが明らかとなっている. また他の既往の研究³⁾では, a/d が 3 程度以上の一般的な諸元であれば, このひび割れはせん断力や軸力の影響をあまり受けずに一定の曲げモーメントで発生することが示されている. そのため, 隅角部の耐力式を構築する上では隅角部に作用する曲げモーメントに着目する必要がある. そこで, 実験では実施が困難な等曲げモーメントを隅角部に作用させた場合の破壊挙動について非線形有限要素解析でシミュレーションを実施した.

2. 解析の概要

解析は筆者らが過去に実施した実験¹⁾をベースとした. この実験の概要を図-1 に示す. 載荷については自己反力で隅角部に正負の曲げモーメントを作用させたものである. 試験体は実物の 1/2 サイズ程度の側壁と底版との隅角部を想定しており, 側壁厚は 500mm, 底版厚は 600mm, ハンチサイズは側壁厚の 1/2 として 250mm とした. 部材幅 (奥行き) は 720mm とし, 主鉄筋は D19 を 8 本, ハンチ筋は D16 を 6 本 (主鉄筋量の約 1/2 の量), せん断補強鉄筋は 3 本の D13 を 120mm 間隔で配置した. a/d については, ハンチ端から加力点までをせん断スパン a ($=1850\text{mm}$) とすると 4.35 である. 隅角部破壊を先行させるため, 隅角部補強鉄筋は配置していない. 加力はジャッキで押す方向を正載荷 (内側引張), 引く方向を負載荷 (外側引張) としている. 主鉄筋の降伏変位を $\pm 1\delta_s$ として以降は $\pm 2\delta_s$, $\pm 3\delta_s$ と同一変位で 3 回ずつ正負に繰返し載荷をした. 主鉄筋の降伏変位は正負で異なり, 正側: $+18\text{mm}$, 負側: -13mm が制御変位となっている.

解析は DIANA10.5 で実施した. 解析ケースを表-1 に, メッシュ分割図を図-2 に, 解析での材料強度を表-2 にそれぞれ示す. CaseO は実験の再現解析 (正載荷の単調載荷), CaseA は等曲げモーメントを作用させたケース, CaseB は CaseA に対して鉄筋を弾性体としたケース, である. ひび割れ進展を模擬するため, コンクリートは比較的細かい分割 (約 9500 要素) とし, 短辺長 25mm の直角 2 等辺 3 角形の要素 (2 次の 6 節点平面応力要素) を用いた²⁾. コンクリートの応力

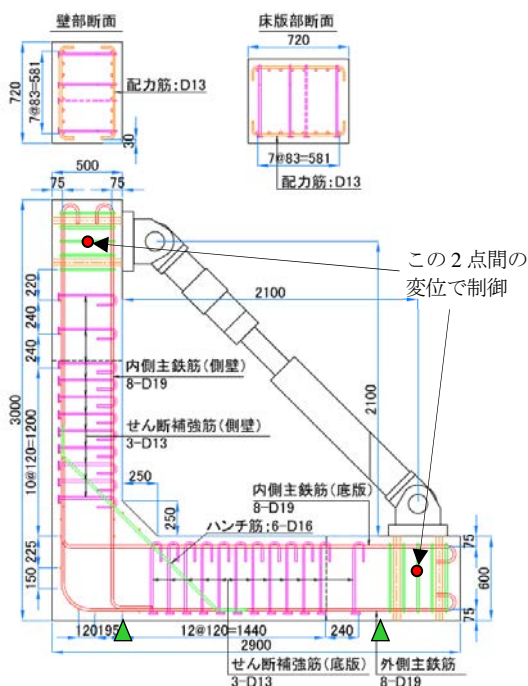


図-1 解析対象の元となった実験の概要

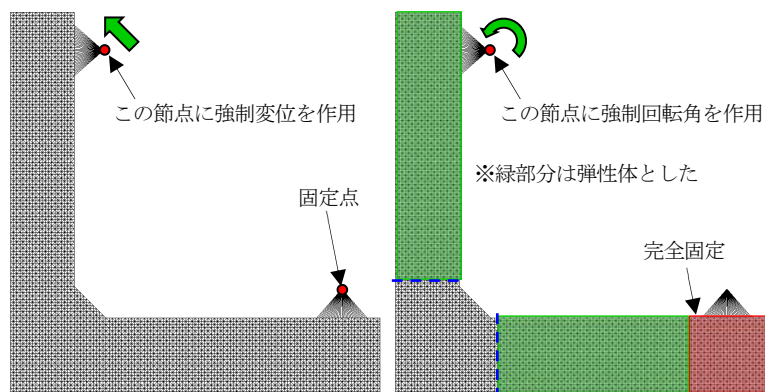
表-1 実験・解析ケース

ケース名	内容
CaseO*	実験の再現解析
CaseA	純曲げモーメント作用
CaseB	CaseA の鉄筋弾性体版

*実験の正載荷方向を単調載荷

表-2 材料強度

コンクリート	$f_c=34.7\text{mm}^2$
D13	$f_y=391\text{N/mm}^2$
D16	$f_y=391\text{N/mm}^2$
D19	$f_y=391\text{N/mm}^2$



(a) CaseO

(b) CaseA と B

図-2 メッシュ分割図と加力方法

キーワード 隅角部, L 形部材接合部, 純曲げモーメント, 非線形有限要素解析

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7221

一ひずみ関係などは表-3 のモデルを用いた。鉄筋は付着—すべり鉄筋要素でモデル化し、応力—ひずみ関係にはバイリニアモデル、付着—すべりモデルには飯塚ら⁴⁾の $\tau-s$ 関係を用いた。基本的な耐荷機構を把握するため、解析は単調載荷とし、図-2 のように強制変位 (CaseO) または強制回転角 (CaseA・B) を作用させた。CaseA と B については、L 形部材全体に渡って同じ曲げモーメントが作用するため、壁部や床版部が先行して破壊しないように隅角部以外はコンクリートを弾性体とした。なお、解析では自重は無視した。

3. 解析結果

図-3 に CaseO での実験および解析の荷重—変位関係 (正載荷側) を、図-4 に CaseO での 4 δ_y 時での実験のひび割れ性状と解析の最大主ひずみ分布をそれぞれ示す。これより、実験よりも解析のほうがやや最大荷重が大きくなっているが、隅角部の破壊が割裂ひび割れの開口によって生じていることが分かる。なお、割裂ひび割れの発生は荷重 225kN であり、実験の 208kN と概ね一致している。225kN の際の隅角部中心位置 (壁軸心と床版軸心の交点) での作用曲げモーメントは 459kN \cdot m となる。また、解析最大荷重は 268kN であり、その時の曲げモーメントは 545kN \cdot m である。

図-5 に CaseA と B の曲げモーメント—相対変形角関係を、図-6 に CaseA と B で隅角部破壊に支配的な割裂ひび割れが発生した時点と最大曲げモーメント時での最大主ひずみ分布をそれぞれ示す。ここで相対変形角とは、図-2(b)において隅角部と緑の弾性体境界線 (図中の青破線) の相対角度の変化量である。図-5 の CaseA では最大曲げモーメントが 540kN \cdot m となり、CaseO における最大値

(556kN \cdot m) と概ね等しかった。また、図-6(a)に示したように 2 本発生した割裂ひび割れのうち、左下側のもが開口して破壊に至っていることが分かる。CaseB は鉄筋が弾性体になった分最大曲げモーメントが 681kN \cdot m と高くなったが、破壊性状は図-6(b)に示したように CaseA との差異はほとんどなかった。これより、CaseA と B のいずれも等曲げモーメント作用下においても CaseO と同様な隅角部破壊となった。CaseA・B の図-6 上の状態 (左下の割裂ひび割れ発生) の曲げモーメントはそれぞれ 456, 469kN \cdot m であり、CaseO に近い値 (454kN \cdot m) であった。

4. まとめ

等曲げモーメント作用下においても隅角部で破壊することを数値解析的に示した。また既往の研究と同様に、一般的な a/d の諸元であれば割裂ひび割れの発生は隅角部に作用する曲げモーメントに支配されることを示し、さらに耐力も軸力やせん断力の影響が小さいことが示された。

本研究内容に関して、コンクリート委員会 357 部材詳細の設計と照査に関する研究小委員会の皆様にご意見を頂きました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 村田裕志ほか：RC ボックスカルバート隅角部の配筋合理化に関する実験的研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.70，V-198，2015。
- 2) 村田裕志ほか：RC ボックスカルバート隅角部の配筋合理化に関する数値解析的検討，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.72，V-161，2017。
- 3) 蟹江秀樹ほか：RC 部材接合部の耐力に関する実験的研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.38，V-31，1983。
- 4) 飯塚敬一ほか：かぶり厚の影響を考慮した異形鉄筋の付着応力—すべり—ひずみ関係，土木学会論文集 E2，Vol.67，No.2，pp.280-296，2011。

表-3 コンクリートモデル

圧縮	Thorenfeldt モデル
引張	Hordijk モデル
横方向の影響	Vecchio-Collins モデル Selby-Vecchio モデル

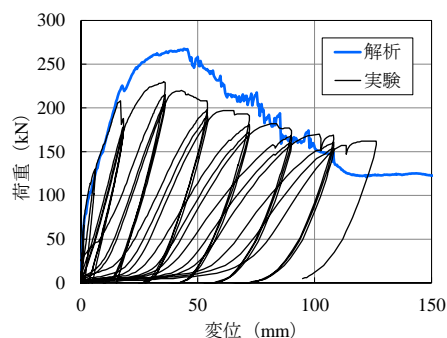


図-3 CaseO の実験と解析の P- δ

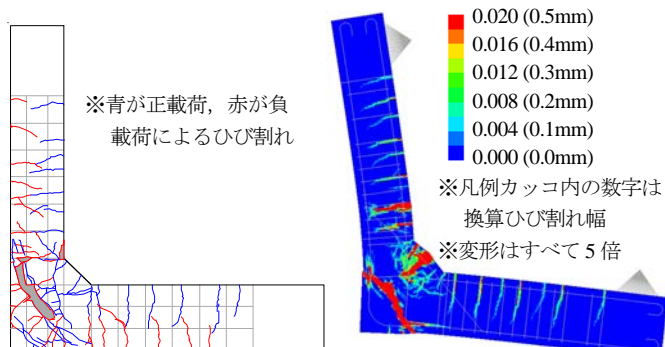


図-4 CaseO の実験ひび割れと解析の最大主ひずみ分布

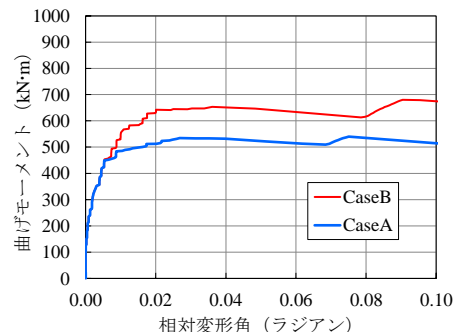
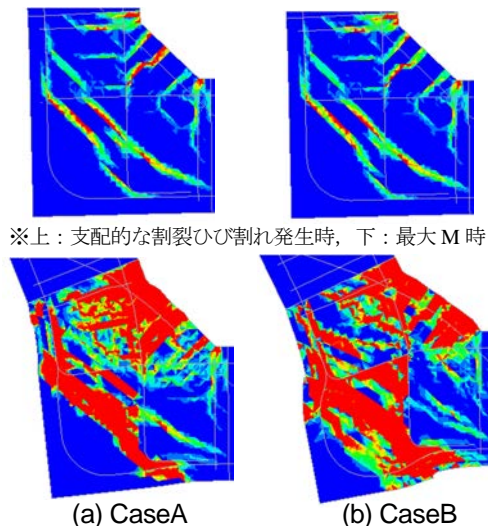


図-5 CaseA・B の M- θ 比較



※上：支配的な割裂ひび割れ発生時，下：最大 M 時

(a) CaseA (b) CaseB

図-6 CaseA・B の隅角部最大主ひずみ分布