

非線形 FEM 解析を用いた厚い部材への RC ループ継手の適用性に関する一考察

(株)オリエンタルコンサルタンツ (正) ○栗山 照雄 (正) 原田 健彦
 // (正) 蔭山 路生 (正) 水田 崇志
 // (正) 増田 貴充 (正) 三矢 寿

1. はじめに

一般に道路橋に適用される RC ループ継手は、短い継手長で、高い耐力を有するメリットからプレキャスト床版の連結部に用いられ、実績等から概ね 300mm 程度の版厚で適用されている。この継手構造は F.レオンハルトの実験、理論^{※1}等を基に海外における設計基準の DIN1045 で規準化され、プレキャスト床版に用いる国内仕様^{※2}もこれらをもとに規定されている。F.レオンハルトらは重ね長さ(L)による付着力とループ内側に働く支圧応力の協働の耐荷機構で継手長が短縮され、ひび割れ防止の観点から重ね長さ(L)をループ径(d_B)の 1.5 倍($L/d_B \geq 1.5$)以上確保するように示されている。しかし、部材厚の適用範囲は規定しておらず、部材が厚い場合の RC ループ継手は、1.5 倍の規定から重ね長さが大きくなるため、メリットが小さくなる。

本検討は、厚み 600mm の部材厚に適用する RC ループ継手と一般的な床版の部材厚 270mm に適用した場合との力学挙動を 2 次元非線形 Fem 解析(シェル要素)により検証し、解析値の相対性からその適用性について考察するものである。

2. 検討モデル

モデル及び解析諸元を表 1 及び図 1 に示す。鉄筋の付着両引試験を模擬して、Case1 を標準(270mm)、Case2 を厚い部材(600mm)としてモデル化した。RC ループ径(d_B : 内径)は部材厚から純かぶり(35mm)と配力筋(D16)から設定した。また、鉄筋径は両ケースの鉄筋断面積比が同一になるように、コンクリート部材の奥行長さは配力筋間隔の 150mm とした。作用力は鉄筋端部に上下鉄筋に直接与え、境界条件はもう一方の上下鉄筋端部を固定させている。なお、本検討は使用限界状態を対象としたため、道路橋示方書の重ね継手長を算出する鉄筋応力度 200N/mm^2 を使用限界状態、降伏点応力度を終局限界状態として見なした。Case2 の重ね長さは円弧がラップする最小値とした。

3. 解析条件

解析手法は 2 次元非線形 Fem 解析(シェル要素)を適用した。コンクリート、鉄筋及び付着関係の構成則及び材料諸数値を図 2、表 2、3 に示す。なお、鉄筋とコンクリートの付着特性はインターフェース要素を用いてモデル化した。

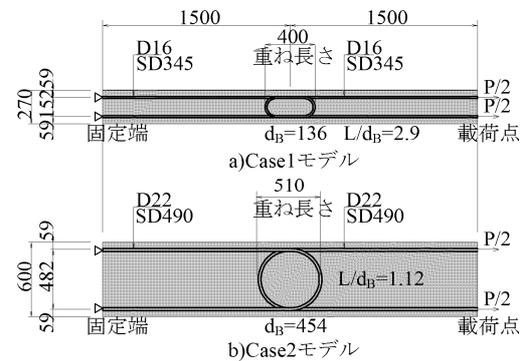


図-1 モデル形状

表-1 形状及び解析諸元

	Case1	Case2
部材断面寸法	H270*W150	H600*W150
鉄筋公称径	D16	D22
降伏点応力度	345N/mm ²	490N/mm ²
鉄筋比	0.98%	0.86%

表-2 コンクリートの材料諸数値

項目	設定値	備考
設計基準強度 f_{ck}	40N/mm ²	
引張強度 f_t	2.69N/mm ²	コン示 (解 5.2.1)
ヤング係数 E_c	31,030N/mm ²	コン示 (解 5.2.8)
ポアソン比	0.20	コン示 P39
引張破壊エネルギー G_f	73.68N/m	コン示 (解 5.2.7)
粗骨材最大寸法 d_{max}	10mm	仮定値
要素代表長さ L_c	20mm	
引張強度ひずみ ϵ_{cr}	0.00009	
引張軟化曲線 ϵ_{t1}	0.00111	コン示 P38
引張軟化曲線 ϵ_{t2}	0.00693	コン示 P38
圧縮破壊エネルギー G_{fc}	55.66N/mm	$G_{fc}=8.8*\sqrt{f_{ck}}$
圧縮強度ひずみ ϵ_0	0.00258	
圧縮限界ひずみ ϵ_{cu}	0.14043	$\epsilon_{cu}=2G_{fc}/(f_c*L_c)+\epsilon_p$
最大付着応力度 τ_{max}	15.81N/mm ²	$2.5*\sqrt{f_c}$ CEB FIP
τ_f	6N/mm ²	$0.4*\tau_{max}$
S_1	1.00mm	
S_2	3.00mm	
S_3	6.00mm	

表-3 鉄筋の構成則に用いる材料諸数値

	D16	D22	備考
種類	SD345	SD490	
降伏点 f_{yd}	345N/mm ²	490N/mm ²	道示 III
降伏ひずみ ϵ_p	0.001725	0.00245	f_{yd}/E_s
ヤング係数 E_s	200,000N/mm ²		コン示 P47
ポアソン比	0.30		コン示 P47
断面積	198.6mm ²	794.2mm ²	道示 III P80
周長	50mm	70	道示 III P80
ひずみ硬化 ϵ_{su1}		0.015	コン示 P47

キーワード：RC ループ継手、継手、非線形 FEM 解析、シェル要素

連絡先：〒530-0005 大阪市北区中之島 3-2-18, TEL: 06-6479-2137, FAX: 06-6479-0506.

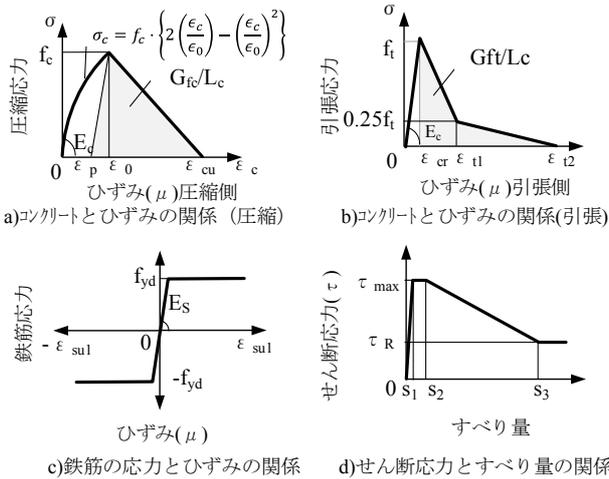


図2 材料構成則

4. 解析検討及び考察

(1) 変形：

図3に示す荷重と変形の関係より使用限界状態においてCase2のテンションステイフニング効果は、Case1と同等以上の性状を示している。

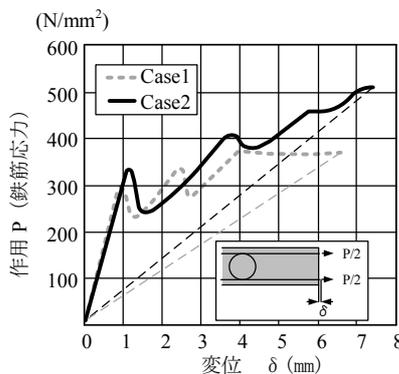


図3 作用と変位の関係

これより付着を含めた変形特性は、床版厚さによる顕著な差異は見られず、同等の性状を有することを示唆している。

(2) 使用限界状態レベルの検討：

使用限界状態レベルにおける鉄筋応力度の分布を図4に示すが、Case1とCase2の鉄筋の応力性状は同等である。また、RCループ継手の凸部の性状はCase2の変曲勾配が緩く(①,②)、ひび割れの分散性が高い傾向がある。よって、鉄筋間の応力伝達及びひび割れ分散性に対しては、部材厚の影響による顕著な差異はみられない。次に、使用限界状態レベルにおける分散ひび割れひずみ分布を図5に示す。Case1(③)は卓越した分散ひび割れひずみが集中しているのに対し、Case2(④)は卓越分散ひび割れひずみが拡がる傾向にある。この差異は、ループ内側に生じるコンクリートの支圧力の影響がコンクリート引張応力として表面まで影響しているものと推察される。すなわち、ループ径が小さいほど、ループ内側の支圧応力が集中しやすく、これがコンクリートの表面の引張応力に影響を及ぼすことを示唆している。また、ひび割れ幅は両者とも最大で0.2mm~0.25mmであり、橋梁設計における設計荷重時の床

版の鉄筋の許容応力度 120N/mm² からひび割れ幅を換算すると 0.12mm~0.15mm となる。このひび割れ幅は耐久性上の影響を無視できるレベルの大きさである。

(3) 終局限界状態レベルの検討：

Case1とCase2の鉄筋降伏(490N/mm²)時点の鉄筋応力度分布を図6示す。何れのケースも使用限界状態よりもひび割れ箇所数(凹部の箇所数)の増加する。次に、ループ部近傍の鉄筋応力差(凹凸の差)に着目すると、Case1(SD345)で 220N/mm² に対し、Case2(SD490)では 195N/mm² と小さくなる。これはコンクリートの引張に対する寄与分が大きいほど凹凸の応力差として表れる。荷重レベルが異なることを勘案してCase2の応力差を降伏点強度で換算すると 155N/mm²(SD345換算)となり、終局限界状態レベルでもCase1と同等以上にコンクリートが引張に寄与することを意味する。

5. まとめ：

非線形Fem解析より、厚い部材にRCループ継手は、使用限界及び終局限界状態レベルにおいて、一般的に用いられている床版厚(300mm程)に適用される継手性能と同等の力学挙動を示す結果を得た。

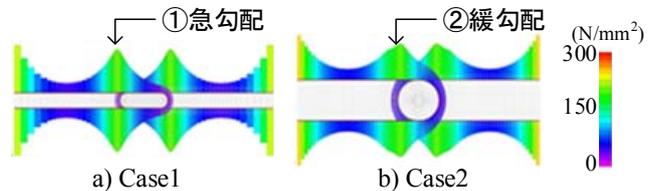


図4 鉄筋応力度カウンター(使用限界状態)

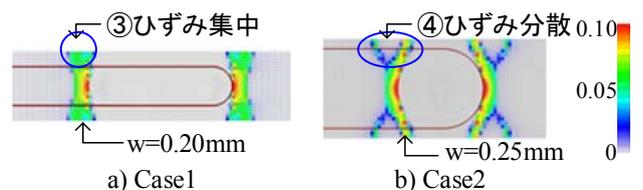


図5 分散ひび割れひずみカウンター(使用限界状態)

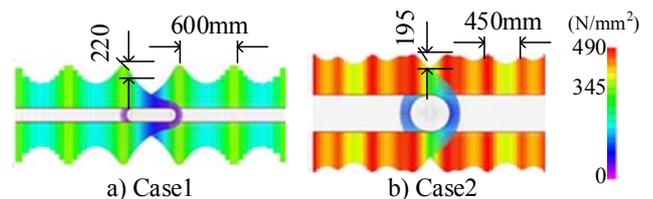


図6 鉄筋応力度カウンター(終局限界状態)

【参考文献】

※1：F・レオンハルトら(著)，横道英雄(監訳)：鉄筋コンクリートの配筋，鹿島出版会，pp.68-69,1985
 ※2：PC床版の手引き，日本橋梁建設協会，pp.49-50,2012