(34) 定着体を用いたRC柱接合部に関する研究

NGUYEN VAN QUANG[1]・谷口　望[2]・諏訪　嵩人[3]・上浦　健司[3]・小林　寿子[4]

[1]学生会員　前橋工科大学大学院　建設工学専攻　博士前期課程（〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥460-1）
[2]正会員　前橋工科大学　社会環境工学科　准教授（〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥460-1）
E-mail:n-tani@maebashi-it.ac.jp

[3]正会員　東日本旅客鉄道　上信越工事事務所（〒370-8543　群馬県高崎市栄町6-26）
[4]正会員　東日本旅客鉄道　上信越工事事務所　新潟工事区長岡派出（〒940-0061　長岡市城内町2-6-1）

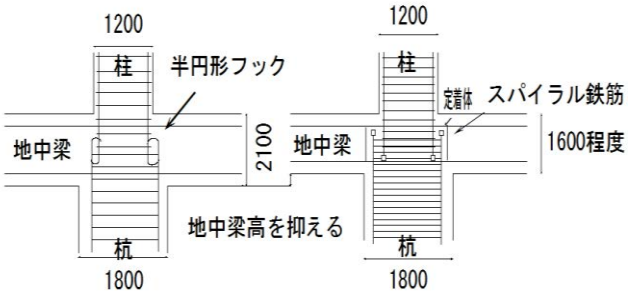
高架橋建設工事での効率化を目的として，定着体を用いる新しい構造の開発が進められている．この構造の開発の目的としては，地中梁がある場合では，地中梁高を低減が見込むことができ，地中梁の施工期間の工期短縮や，地中梁施工のための掘削土留工の工事費を抑えることができる．また，地中梁が無い場合（根巻き鋼管タイプ）では，根巻き鋼管高の低減が見込めることができ，根巻き鋼管の材料費の削減や，施工性の改善が可能となる．本構造の耐荷性能の確認を目的に模型供試体による載荷実験を実施した．載荷試験では，定着体の有無やRC中の鉄筋の付着の有無をパラメータとして実験を行っている．また，これらの耐荷メカニズムを解明するために，有限要素解析法（FEM解析-FINAL）を用いて解析的検討を行い，構造の実用化に向けて検証を行った．

Key Words : *Hybrid Structure, load resisting force, column, mechanical anchorages*

1. はじめに

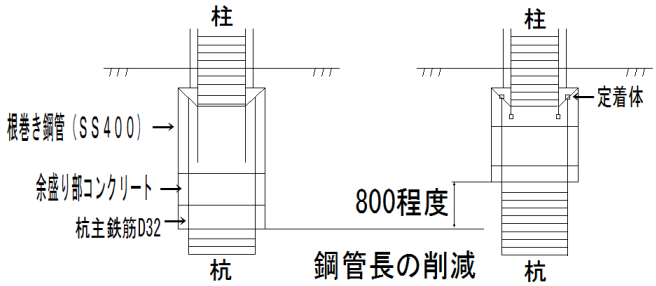
鉄道構造物では，新線建設や立体交差化工事などにおいて，RCラーメン高架橋が使用されるのが一般的である[1)]．そのような中で，ラーメン高架橋の建設工事において，さらなる合理化が求められている．この目的に対応して，柱基部の地中梁を省略するために，根巻き鋼管を用いた複合構造形式の接合部が提案されている[2)]．しかし，本構造形式の残された課題としては，接合部に作用する力を円滑に伝達する必要があるため，地中埋め込み部の根巻き鋼管長が大きくなることや，杭ー柱接合部の配筋量が多くなり，配筋が過密となり施工が困難であることが挙げられる．

そこで，本研究では，鉄筋の端部に定着体を使用し，杭ー柱接合部構造の合理化を図ることを提案する（**図-1**）．従来の接合方法では，鉄筋の定着を確保するために，鉄筋の定着長分以上の地中梁や根巻き鋼管長が必要となり，その結果，材料費が多くなることや地盤の掘削量が増加するなどの影響が出ていた．今回使用する定着体は，この鉄筋の定着長を大幅に短縮する目的で使用する．この定着体により，耐荷力を低下させないままに鉄筋の定着長が短縮できれば，地中梁や根巻き鋼管の使用量を減少させることができるとともに，地盤掘削量の低減にも効果があると考えられる．また，定着体により円



従来の接合部　　定着体を使用した接合部

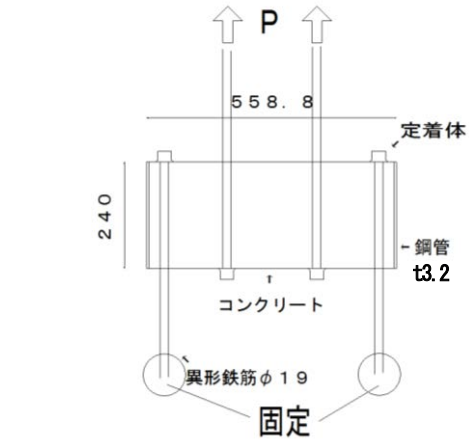
(a) 地中梁を使用する場合



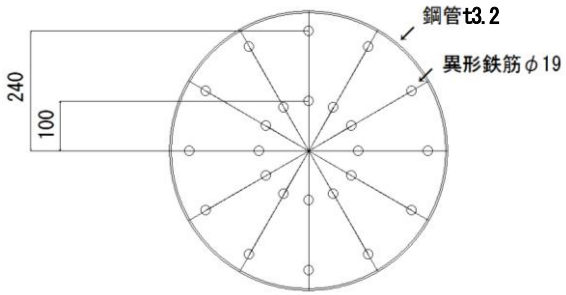
従来の接合部　　定着体を使用した接合部

(b) 根巻き鋼管を使用する場合

図-1　杭-柱接合部の概要例（単位:mm）



(a)　供試体の側面概要と載荷方法



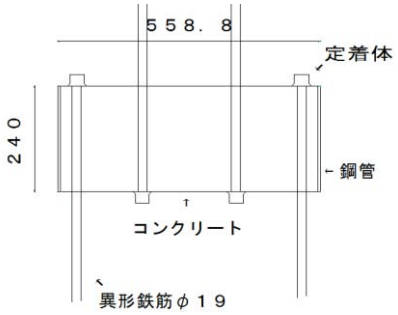
(b)　供試体の断面図

図-2　既設鋼橋支点部の複合構造化概要

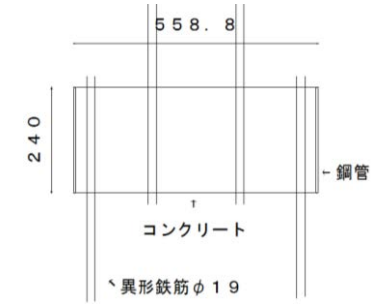
滑な応力伝達が可能となれば，配筋量も減少できる可能性もあり，過密配筋の解消にも効果がある可能性がある．本研究では，このような構造体の設計を行う上で必要な耐荷メカニズムを把握するために，実物の約1/4スケールの供試体における終局載荷試験を実施した．実験においては，定着体の効果を確認するために，定着体の有無や鉄筋の付着有無に着目した3種類の供試体について実験を行っている．また，これに対応する，3次元非線形有限要素解析（FEM解析）をそれぞれ実施し試験の再現を試み，耐荷力算定や設計手法確立に向けた考察を行っている．

2.　根巻き鋼管接合を想定した載荷試験概要

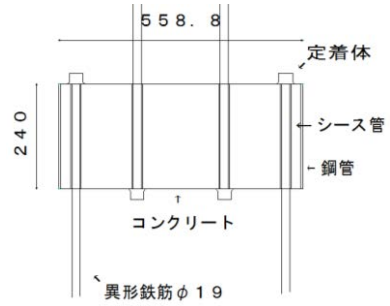
載荷試験は，根巻き鋼管を含めた柱ー杭接合部を模擬した約 1/4 スケールの縮小供試体を使用し，鉄筋に軸引張力を作用させることにより行った（**図-2**）．実際の RC 高架橋基部においては，曲げやせん断に対する挙動が作用することが知られている [3] が，曲げやせん断による挙動に対しても，設計上は鉄筋に作用する力としては引張軸力が卓越し，定着体としてはこの引張軸力に対



(a)　A体（定着体使用，鉄筋付着有）



(b)　B体（定着体未使用，鉄筋付着有）

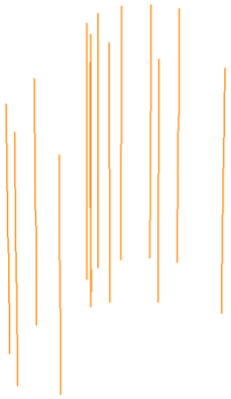


(c)　C体（定着体使用，鉄筋付着無）

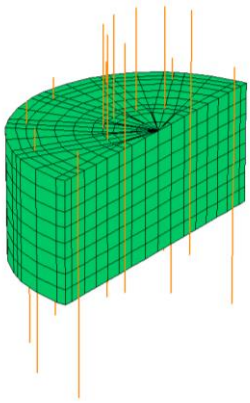
図-3　供試体の種類

して抵抗力を発揮することを期待していることから，接合部に対する軸引張試験により耐荷力の検討を行うこととしている．

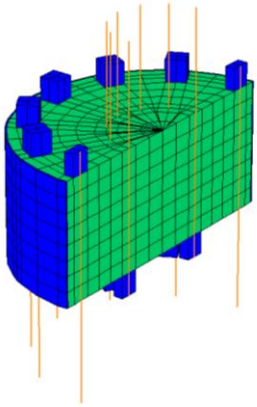
供試体の種類は，3種類を設定し，A体：定着体を使用した供試体，B体：定着体を使用しない供試体，C体：定着体を使用するが，シース管（内径φ20）を用いて鉄筋とコンクリートの付着を切った供試体，とした（**図-3**）．鋼管長240mmは，鉄筋の定着長が確保できない値として設定している．ここに，鉄筋はSD345，鋼管（3.2mm厚）はSS400を用いている．定着体には，ねじ切りした鉄筋に対して，M20ナット・平ワッシャーを取り付けたものを使用している．供試体の鉄筋には，ひずみゲージを複数取付け，載荷試験時に計測を行った．なお，RC橋脚や基礎杭との剛性比較により，本接合部は設計上，剛体部位として扱われることが多く[3]，変形については考慮されないことが多いため，本実験では供試体部分の軸方向変形については計測を省略している．



(a) 鉄筋モデル



(b) コンクリートモデル



(c) 定着体および鋼管

図-4 有限要素解析モデルの概要（A体の場合）

表-1 コンクリートの材料諸元

	弾性係数	ポアソン比	圧縮強度	引張強度
	N/mm^2	ー	N/mm^2	N/mm^2
A体，C体	2.95×10^4	0.2	27.4	2.4
B体	2.95×10^4	0.2	25	2.4

3. 解析手法概要

載荷試験に対応して，3 次元非線形有限要素解析を実施した．使用した解析ツールは，汎用有限要素解析：Final

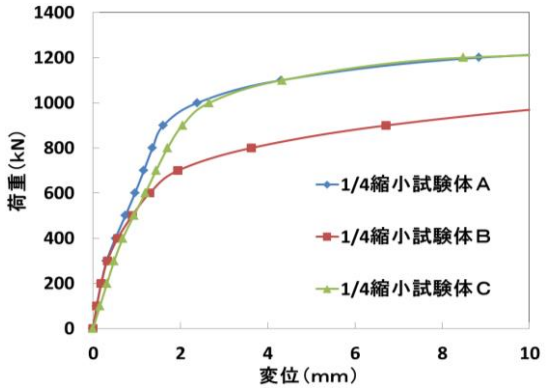
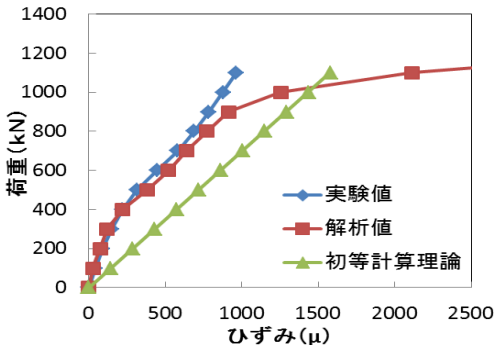


図-5 荷重ー変位関係（解析結果のみ）

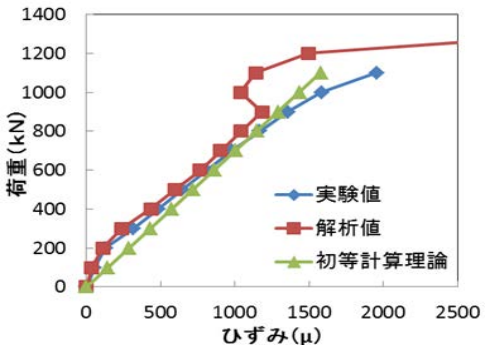
を使用している．モデル化に当たっては，対称性を利用して 1/2 モデルとし，コンクリート，鋼管，定着体をソリッド要素でモデル化し，鉄筋はビーム要素でモデル化するものとした（**図-4**）．コンクリートの材料構成側は，実験結果に基づき設定した．コンクリートの材料諸元を**表-1**に示す．なお，鋼材のモデル化に当たっては，鋼材の設計降伏点を折れ点とするバイリニアで仮定するものとし，降伏後のヤング係数はE/100（弾性時のヤング係数をEとする）で表現している．また，コンクリートの非線形構成側は，引張に関してはコンクリート標準示方書モデルを，圧縮に関しては修正ahamadのモデルを使用した．また，鉄筋とコンクリートは，節点を共有し，ずれは生じないと仮定し，鋼管とコンクリートの付着は界面要素（接触要素）を用いてモデル化している．

4. 荷重ー変位関係の比較

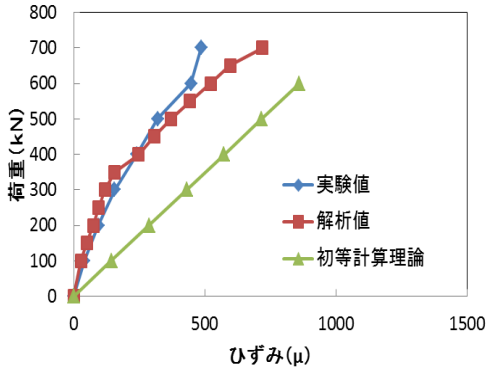
解析結果のうち，コンクリート表面の鉄筋位置における荷重ー変位関係を**図-5**に示す．先述の通り，本実験においては，荷重ー変位関係の計測は行っていないため，比較は行わないものとする．本結果からは，鉄筋降伏前の剛性は，鉄筋の付着の無いC体については，A体，B体の剛性に比べて低い値となっている．また，B体は，定着体がないため，A体の鉄筋が降伏するとみられる900ｋN載荷時よりも低い荷重で，剛性が低下している．これは，鉄筋の付着が比較的低い荷重の段階で，鉄筋周辺のコンクリートがひび割れ，その後，定着体がないため引張力が円滑に伝達されなくなったためと考えられる．なお，解析上の荷重ー変位関係は，鉄筋降伏後も荷重は増加し続け，最大耐荷力を把握することはできなかった．実験では，コンクリートから鉄筋が抜け出す形で終局状態が発生しているが，微小変形モデルの本解析ではそこまでは再現できなかったと考えられる．しかしながら，同等の変位量の場合，A体，C体の耐荷力に対して，B体



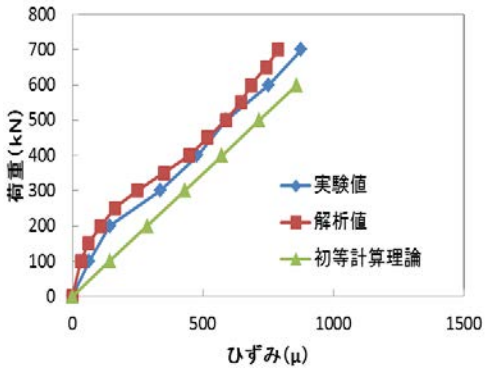
(a) A体外側鉄筋



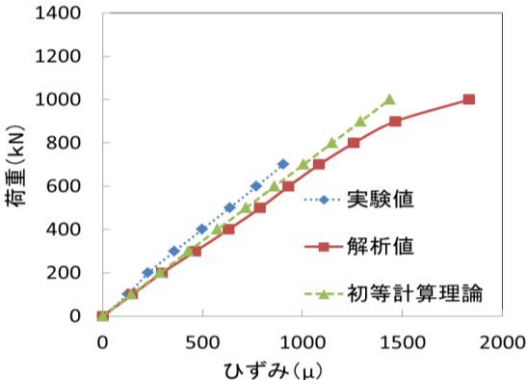
(b) A体内側鉄筋



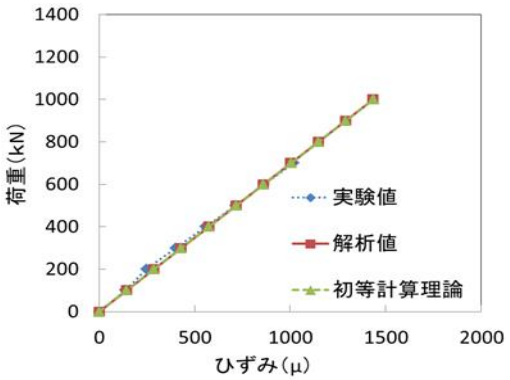
(b) B体外側鉄筋



(c) B体内側鉄筋



(e) C体外側鉄筋



(f) C体内側鉄筋

図-6 荷重ー鉄筋ひずみの関係（解析結果および実験結果）

の耐荷力が低い値となる様子は把握できる．

5. 荷重ー鉄筋のひずみ関係の比較

荷重と鉄筋のひずみの関係図の比較を図-6に示す．円形断面であるため，解析上の鉄筋のひずみは，周方向にすべて同じ値となるはずであるが，実験結果はそれぞれ異なるため，実験結果のひずみは平均化して図示するものとした．また，初等計算理論として鉄筋を純軸引張として計算した結果も併せて示している．なお，実験における鉄筋の計測結果は，鉄筋降伏前の状態では，それぞれにほぼ差はない状態であるが，鉄筋降伏後は，ひずみ値が局所化し，それぞれで大きく異なる結果となっている．

図-6より，実験結果と解析結果はほぼ一致していることが分かる．また，初等理論との比較では，A体，B体については，実験，FEM解析ともに初等理論よりも大き

な剛性を示しているが，これはコンクリートの合成効果により生じている傾向と考えられる．したがって，C体は，コンクリートの合成効果が見られないため，実験，FEM解析ともに初等理論とほぼ等しい剛性となっていると想定できる．また，A体，B体ともに，コンクリートがひび割れた後は，鉄筋のみの剛性とほぼ等しくなる傾向となっている．

本供試体の鉄筋の降伏ひずみは1600μ程度と想定される．A体，C体では，局所的なひずみの影響で1200μ程度から非線形挙動になる傾向はみられるものの，鉄筋の降伏後に終局となることが分かる．一方，B体では，鉄筋が降伏する前の700μ程度で終局となる傾向が分かり，この点から，定着体がない場合は定着不足により鉄筋の性能を十分に発揮できていないと想定できる．

6. 最大耐荷力の算定手法の検討

実験結果とそれを再現する解析については，ある程度一致することは把握でき，破壊メカニズムについては再現可能であると言える．しかし，本構造の設計においては，最大耐荷力の把握が重要であることから[3]，最大耐荷力が明確でない本解析結果のままでは設計が困難である．したがって，先述の解析結果の考察から，最大耐荷力の算定手法について検討を行う．

荷重と鉄筋のひずみの結果比較から，A体，C体は，鉄筋の降伏により剛性が大きく低下し，その後早い段階で終局状態となることが想定される．一方，定着体の無いB体については，鉄筋が降伏する前に終局状態となっており，これは鉄筋の定着長不足，すなわち鉄筋の付着切れが終局状態の要因と考えられる．

B体については，鉄筋の降伏応力まで使用せずに定着不足を生じさせる場合は，構造物として非効率な構造であることが想定される．そのため，ここでのB体の最大耐荷力の算定は行わないものと考えた．

一方，定着体のあるA体，C体については，最大耐荷力は鉄筋の降伏ひずみで算定できると想定した．解析結果における鉄筋の降伏ひずみから求めた最大耐荷力と，実験結果の比較を**表-2**に示す．解析結果では，解析上ひずみが大きく算定される外側鉄筋の値を使用している．**表-2**より，A体は実験結果の方がやや大きめ，C体は解析結果の方がやや大きい結果となっている．これは，A体では，鉄筋の付着によりコンクリートの合成効果があるため，コンクリートのひび割れ後もテンションスティフニング効果[4]により最大耐荷力がやや大きく算定されたと推測できる．一方，C体では鉄筋の付着がないため，テンションスティフニング効果はなく，さらには局所的に発生するひずみにより，解析結果よりもやや小さな最大耐荷力を示したと考えられる．

表-2　最大耐荷力の比較

	最大耐荷力(kN)		
	実験結果	解析結果	終局要因
A体	1106	1030	鉄筋降伏
B体	796	−	鉄筋定着不足
C体	870	920	鉄筋降伏

実際に使用する構造としては，C体よりも鉄筋の付着を活用した，A体の構造の方が合理的な構造であると考えられる．したがって，設計においてはA体が標準的な構造であるとすれば，実際の挙動よりもやや低い最大耐荷力を得ることができる手法は，設計上安全側であると考えられる．よって，A体に限れば，最大耐荷力の算定は，外側鉄筋の降伏ひずみにより算定可能であることが言える．

なお，コンクリート内部の応力分布は，今回の供試体では，さほど大きな影響を与えていないことになる．しかし，最大耐荷力が鉄筋の降伏により算定できるのは，本供試体の相似スケールの場合のみであると考えられる．したがって，鉄筋間隔や柱軸方向の大きさによっては，A体のような構造形式でも，コンクリートによる別の破壊モードを生じる可能性があり，その点には注意を要すると言える．

7. まとめ

本論文では，合理的な新しい高架橋接合構造を提案するとともに，3次元の非線形有限解析により，耐荷メカニズムについて検討を行った．得られた結論を下記に示す．

(1) 鉄筋に定着体を用いた接合構造は，定着体を用いない場合よりも引張最大耐荷力が大きくなることが分かった．解析結果との比較により，定着体を用いると定着体間のコンクリートで応力を伝達するが，定着体を用いない場合，鉄筋の付着のみで応力を伝達することが明確となり，耐荷メカニズムが大きく異なるためであると考えられる．

(2) 鉄筋の付着を切った接合構造は，定着体間の狭い範囲のコンクリートのみで応力を伝達するため，付着を切らない供試体よりも最大耐荷力が小さくなることが分かった．解析結果でも同様な傾向は表現することができ，付着を切った構造の場合は，コンクリート・鋼管の合成効果は得られないため，初期剛性も鉄筋のみの剛性となった．

(3) 本提案構造の解析にあたっては，今回使用したモデル化手法の解析を用いて耐荷メカニズムが再現でき

ていると考えられる．本検討結果より設計への適用には，鉄筋の降伏により最大耐荷力の算定が可能であると考えられる．

本研究は，縮小供試体における軸方向引張挙動に対する検討を行った．今後は，実物大での相似則の確認，曲げ挙動に対する挙動確認を行う予定である．

謝辞：本研究の実施に当たっては，研究当時前橋工科大学に在籍していた，芳賀貴大氏および今野大義氏に多大な協力を得ました．記して謝意を表します

参考文献

1) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説，コンクリート構造物，2009.5.
2) 野澤伸一郎，大迫勝彦：技術開発成果を生かした線路上下空間の創造，JR East Technical Review，No.27，東日本旅客鉄道，2009.spring.
3) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説，鋼とコンクリートの複合構造物，2002.
4) 谷口望，池田学，依田照彦：鉄道用連続合成桁の設計におけるテンションスティフニングの影響評価，構造工学論文集，Vol.52A，土木学会，pp.1047-1056，2006.

A STUDY ON RC COLUMN JOINT WITH MECHANICAL ANCHORAGES

NGUYEN VAN QUANG, Nozomu TANIGUCHI,
Takahito SUWA, Kenji KAMIURA and Hisako KOBAYASHI

RC viaducts are used in the railroad structures frequently. The junction with the supporting columns and the basics should be considered to be simple structure. Therefore we suggest new structures for these junctions. In this study, experiments for these new structures were conducted. In addition, the analytic examinations for these structures were carried out. And so, the useful techniques for design were shown from results of experiments and examinations.