

論文 ラーメン高架橋接合部の定着性能におよぼす横方向鉄筋の影響

田所 敏弥^{*1}・谷村 幸裕^{*2}・佐藤 勉^{*3}・柏原 茂^{*4}

要旨：ラーメン高架橋における，柱，地中梁，および杭の接合部は，耐震設計の観点から過密な配筋となっている。そのため，軸方向鉄筋の定着長算定方法の見直し等により施工性，および経済性の改善がもとめられている。本研究では接合部の補強鉄筋をパラメータに実験を行い，接合部の補強鉄筋が軸方向鉄筋の定着性能に影響を与えることを示した。さらに，補強鉄筋を横方向鉄筋として考慮することにより定着長算定式を修正し，合理的な設計が可能になることを示した。

キーワード：定着長，横方向鉄筋，拔出し，ラーメン高架橋接合部

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下RC）構造物の耐震設計において，構造物を構成する部材および接合部は，十分な耐力および変形性能を有することがもとめられている。そのため，1柱1杭形式のラーメン高架橋接合部においては，過密配筋となり，施工性が低下することになる。そこで，本研究では，ラーメン高架橋接合部における軸方向鉄筋の定着についての実験的検討を行い，合理的な算定方法を提案した。

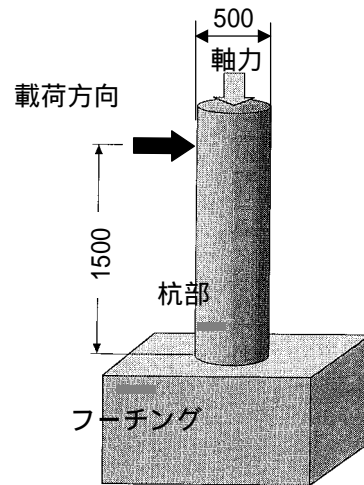


図 - 1 基準供試体 (No.0)

2. 部材接合部の正負交番荷重試験

2.1 実験概要

(1) 供試体

供試体形状および諸元を図 - 1 ~ 図 - 3，および表 - 1 ~ 表 - 2 に示す。供試体は，フーチングに杭の軸方向鉄筋が十分に定着された基準供試体と標準的な1柱1杭形式のRCラーメン高架橋の地中梁，柱，および杭部材の接合部を模擬した十字型供試体とした。なお，供試体は，実物大の50%程度の縮小モデルを用い，接合部の補強鉄筋，および接合部の寸法をパラメータとして実験を行った。

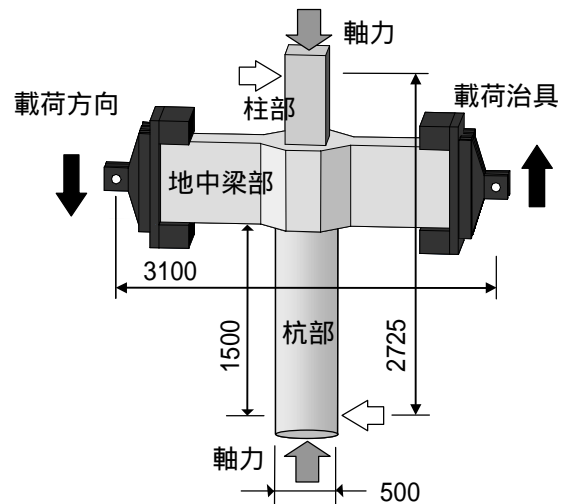


図 - 2 十字型供試体 (No.1~3)

*1 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 博(工) (正会員)

*2 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 工修 (正会員)

*3 鉄道総合技術研究所 研究開発推進室 博(工) (正会員)

*4 西日本旅客鉄道株式会社 建設工事部 (正会員)

表 - 1 供試体諸元

No.	軸方向鉄筋		接合部形状			補強鉄筋	コンクリート圧縮強度(N/mm ²)			備考
	定着方法	定着長	B _j	T _j	H _j		杭	接合部	柱	
0	フックあり	40	-	-	-	-	31.4	31.3	-	基準供試体
1	フック無し	30	760	760	700	3@168	31.6	23.6	31.7	補強鉄筋減
2		30				6@84	35.2	30.9	28.6	-
3		30	585	625		29.6	27.5	32.0	接合部縮小	

表 - 2 材料特性値

呼び名	引張降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	適用箇所
D16	393.2		190.	No.1,2 杭・柱・地中梁
	368.5	536.0	187.	No.3 杭・柱・地中梁
	378.5	560.9	190.	No.0 杭
D13	376.0	549.0	166.	No.1,2 柱・地中梁
	389.4	556.2	187.	No.3 柱・地中梁
D10	373.6	550.3	169.	No.1,2 杭
	382.4	564.5	176.	No.3 杭
	366.9	515.2	187.	No.0 杭

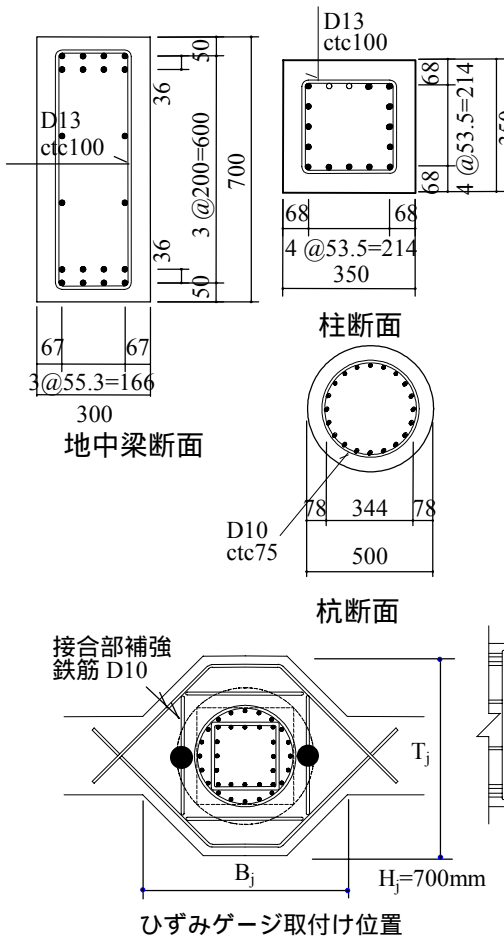


図 - 3 接合部諸元

(2) 荷重方法

基準供試体 No.0 は、図 - 1 に示すように、基部から 1500mm の位置を最外縁の軸方向鉄筋が降伏する変位 y の整数倍で 3 回ずつの正負交番荷重を行い、十字型供試体 No.1 ~ No.3 は、図 - 2 に示すように、地中梁を上下方向に降伏変位 y の整数倍で 3 回ずつの正負交番荷重を行った。ここで、水平変位 x は、地中梁の荷重点を結ぶ線の垂線を基準とした杭部材の先端（ピン固定点）までの距離とした。また、軸力はコンクリート強度の 10% に相当する 530 kN とした。

2.2 実験結果

(1) 破壊状況

実験により得られた荷重 - 変位関係、および鉄道設計標準（耐震設計）¹⁾ により計算される Y 点、M 点、N 点を図 - 4 に示す。ここで、Y 点は降伏点を、M 点は最大荷重点を、N 点は降伏荷重を下回らない最大変位の点を意味する。

基準供試体においては、 $3 y$ で最大荷重に達した後、荷重が低下し $6 y$ で最外縁の軸方向鉄筋の座屈、かぶりコンクリートのはく落が確認された。そして、 $9 y$ で最外縁の軸方向鉄筋の

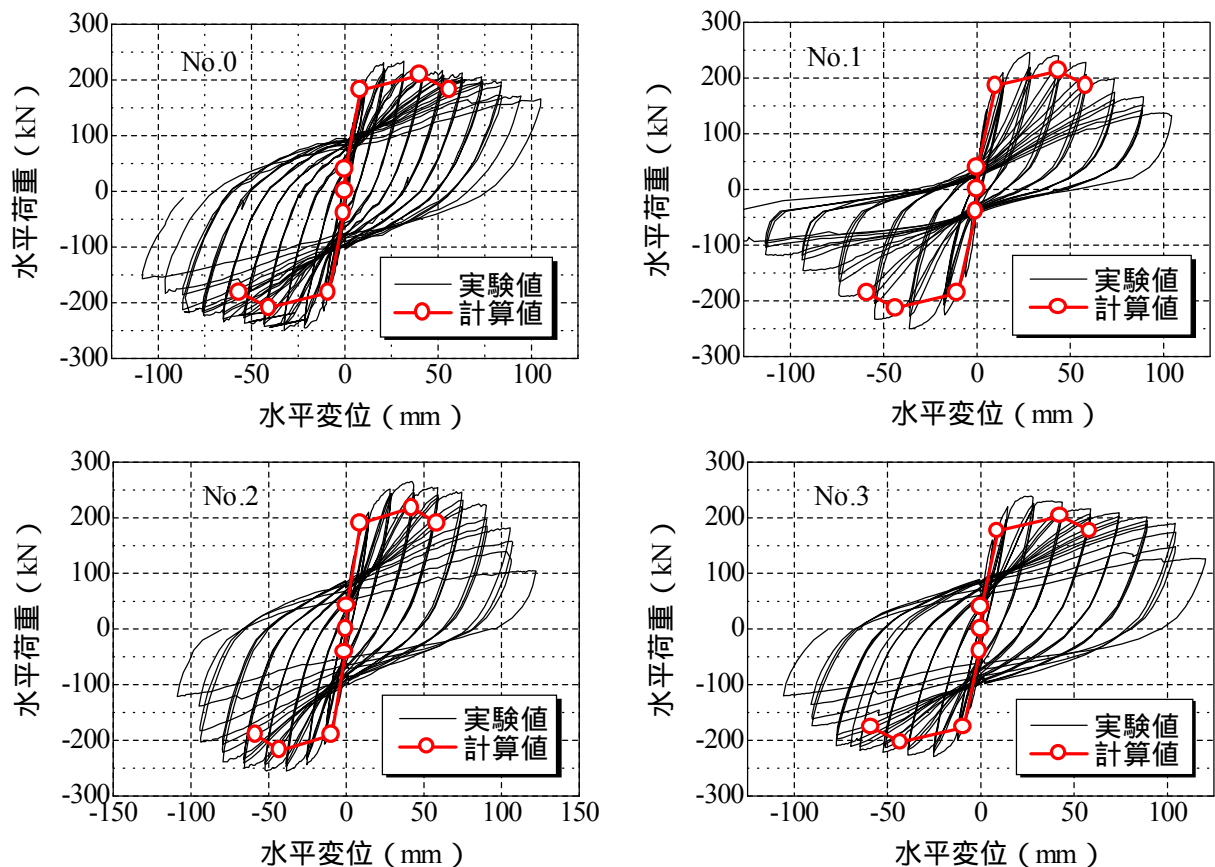


図 - 4 荷重 - 変位関係

破断により大きく荷重が低下した。杭部材は、円形断面を有しているため、最外縁の軸方向鉄筋の座屈後もある程度の変形性能を有する結果となった。また、ひび割れ性状は、フーチング上面では、1_yで杭中心に向かう放射状のひび割れが発生し、6_yで最外縁の軸方向鉄筋周辺のコンクリートがはく離した。

供試体 No.1 は、2_yで最大荷重に達した後、軸方向鉄筋の拔出し量が大きくなり、荷重が低下し、5_yで降伏荷重を下回った。杭部材は、かぶりコンクリートがわずかにはく落する程度で、軸方向鉄筋の座屈は見られなかった。一方、接合部では、斜めひび割れが発生するとともに、基部周辺が損傷し、コンクリートがはく落した。これは、接合部の軸方向鉄筋が抜け出したことによると考えられる。

供試体 No.2, 3 は、3_y、および 2_yで最大荷重に達した後、杭部材の曲げひび割れ幅の増加にともなってかぶりコンクリートがはく落し、軸方向鉄筋が座屈した。そして、6_yもしくは

7_yで降伏荷重を下回り、8_yで杭部材の軸方向鉄筋の破断により荷重が大きく低下した。ただし、接合部に大きな損傷はみられなかった。

(2) 荷重 - 変位関係

図 - 4 に杭部材の荷重 - 変位関係を示す。本実験の場合、軸力の方向と部材軸が一致するため、荷重 - 変位関係に軸力による付加曲げ効果を考慮する必要がない。また、履歴吸収エネルギーの推移を図 - 5 に、付着切れによる拔出し量の推移を図 - 6 に、接合部の補強鉄筋のひずみ分布（ゲージ位置は、図 - 3 参照）を図 - 7 に示す。ここで、エネルギー吸収量は、履歴曲線により囲まれた面積であり、付着切れによる拔出し量は、最外縁の軸方向鉄筋基部に取付けたワイヤーの伸縮量から鉄筋のひずみ分布を積分することによって得られる鉄筋の変形量を減じた値である。また、図 - 7 における接合部高さ h において、 $h = 0$ mm が杭部材の基部に一致する。

エネルギー吸収量、拔出し量の基準供試体と

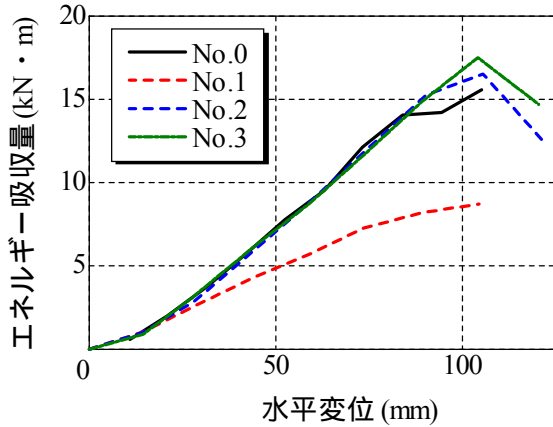


図 - 5 エネルギー吸収量

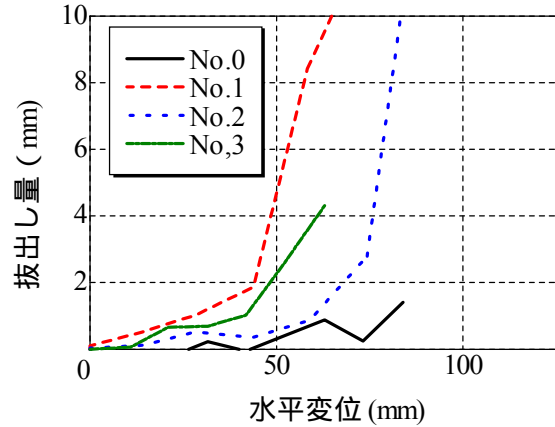


図 - 6 付着切れによる拔出量

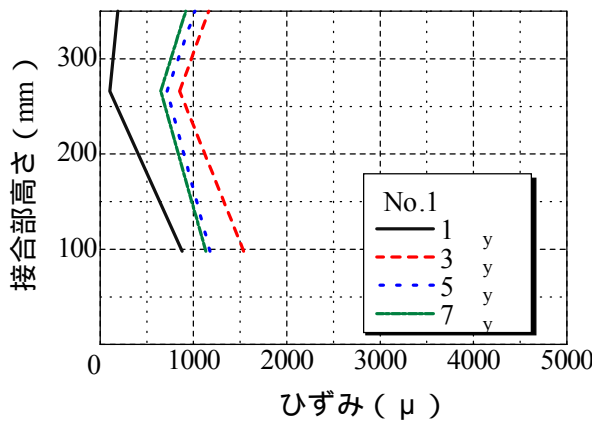


図 - 7 (a) 補強鉄筋のひずみ分布 (No.1)

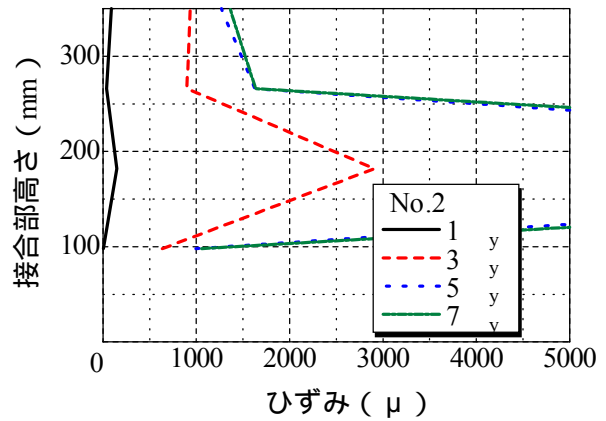


図 - 7 (b) 補強鉄筋のひずみ分布 (No.2)

の比較, および接合部のひび割れ性状から, 供試体 No.1 は接合部において軸方向鉄筋の付着破壊が発生し, 軸方向鉄筋が抜け出したと考えられる。また, 接合部の補強鉄筋のひずみが, 他の供試体と比較して小さいことから, 軸方向鉄筋の拔出しに対する補強鉄筋の寄与が小さいと考えられる。一方, 補強鉄筋量が 2 倍の供試体 No.2 では, 接合部の補強鉄筋のひずみが大きいことから, 付着破壊に対して補強鉄筋が大きく寄与していると考えられる。このように, 接合部の補強鉄筋は, 杭部材の軸方向鉄筋の拔出しに影響を与え, 定着性能を向上させることが確認できた。このため, 補強鉄筋の影響を定着長の算定において適切に考慮することにより, 合理的な設計が可能になると考えられる。

また, 補強鉄筋量が同じで接合部の寸法が異なる供試体 No.2 と No.3 の比較から接合部の寸法の小さい供試体 No.3 は, 図 - 6 の拔出量の

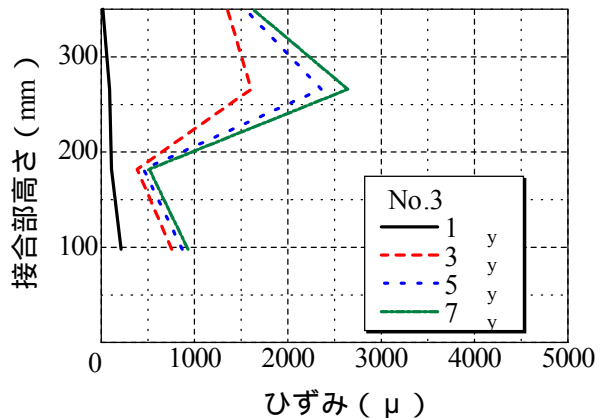


図 - 7 (c) 補強鉄筋のひずみ分布 (No.3)

比較から, 載荷直後から定着性能が劣っていることがわかる。また, 補強鉄筋のひずみ分布からも, 供試体 No.2 よりひずみが小さく, 補強鉄筋の拔出しに対する寄与が小さいと考えられる。供試体 No.3 は, 接合部の軸方向鉄筋のかぶりか供試体 No.2 に比べ小さいことが, 定着性能が劣る直接的な原因と考えられる。

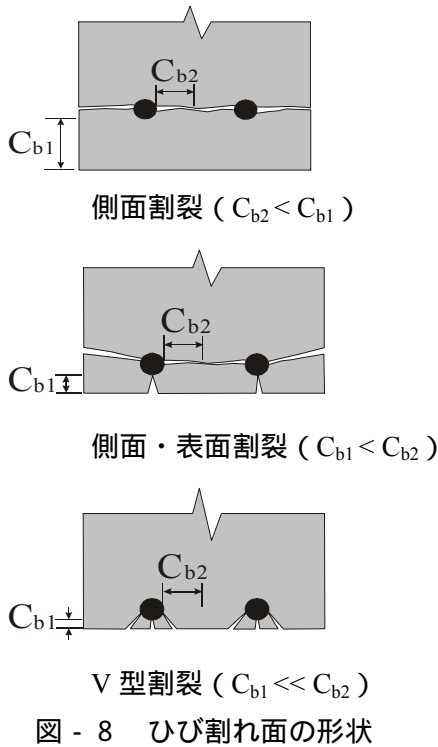


図 - 8 ひび割れ面の形状

3. 定着長算定式の提案

3.1 既往の算定式

横方向鉄筋によって拘束される軸方向鉄筋の基本定着長 l_{d0} は、棒部材の算定式を準用し、式(1)により算定することができる²⁾³⁾。

$$l_{d0} = \frac{\frac{f_{syd}}{1.25\sqrt{f'_{cd}}} - 13.3}{0.318 + 0.795 \cdot K_c} \cdot \phi \quad (1)$$

$$K_c = (c_b/\phi) + \{15A_t/(s \cdot \phi)\}$$

ただし、 $c_b/ \quad 2.5$

ここに

f_{syd} : 軸方向鉄筋の設計強度 (kN/mm^2)

f'_{cd} : コンクリート設計圧縮強度 (kN/mm^2)

: 定着する鉄筋の直径 (mm)

A_t : 仮定される割裂破壊断面に垂直な横方向鉄筋の断面積 (mm^2)

c_b : 定着する鉄筋のかぶりとあきの 1/2 の小さい方の値 (mm)

s : 横方向鉄筋の中心間隔 (mm)

側面割裂 (図 - 8 参照),

$$A_t = A_0 \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

A_0 : 杭の帯鉄筋 1 本の断面積 (mm^2)

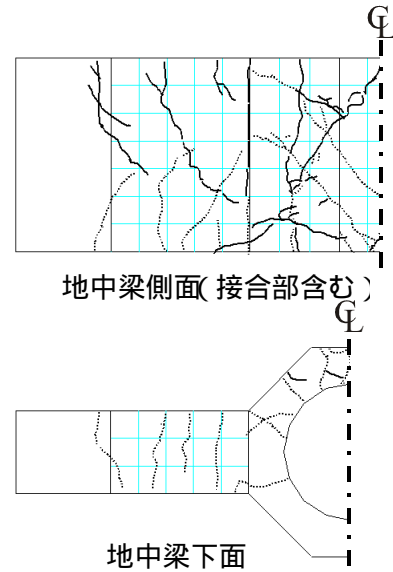


図 - 9 接合部のひび割れ状況 (No.1)

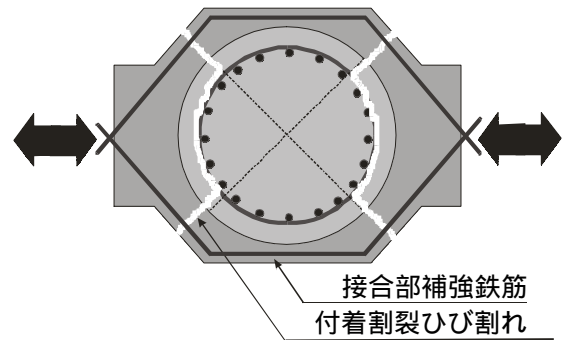


図 - 10 式(1)の前提となる

接合部のひび割れ

n_1 : 破壊断面に垂直な帯鉄筋の本数 (2 本)

n_2 : 軸方向筋の本数の 1/4

側面・表面割裂, V型割裂 (図 - 8 参照),

$$A_t = A_0 \quad (3)$$

3.2 定着算定式の修正

(1) 修正案 1

接合部における既往の算定方法は、図 - 10 に示すひび割れを仮定し、式(2)により A_t を算定している。しかし、実際のひび割れ性状は、図 - 9 に示すように、図 - 8 に示す側面割裂より、むしろ図 - 8 , または に示した表面割裂, または V 型割裂に近い。そこで、修正案 1 では、あきとかぶりの大小関係に関わらず式(3)を用いて A_t を算定することとする。

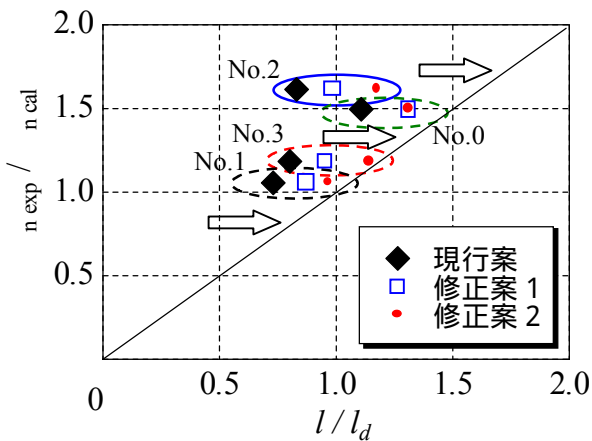


図 - 11 定着長算定式の検証結果

(2) 修正案 2

本研究で用いた供試体のように，接合部に補強鉄筋が配置される場合は，補強鉄筋を横方向鉄筋とみなし，式(4)にしたがって A_t を算定することとする。

$$A_t = A_0 + A_0' \cdot \frac{s}{s'} \quad (4)$$

ここに，

A_0 : 杭の帯鉄筋 1 本の断面積 (mm²)

A_0' : 接合部補強鉄筋の 1 本の断面積 (mm²)

s : 杭の帯鉄筋の間隔 (mm)

s' : 接合部の補強鉄筋の間隔 (mm)

定着長を確保することが困難な場合，修正案 2 では，補強鉄筋を配置することによって定着長を減じることが可能となる。

3.3 定着長算定式の検証

図 - 11 に設計上必要とされる定着長 l_d と実際に配置された定着長 l の比 (l / l_d) と変形性能の関係を示す。ここで，定着長 l_d は式(1)に示す基本定着長 l_{d0} に付着が有効にならない区間長 10 を加えた値である。また，図 - 11 において縦軸は，終局時の変形性能であり，N 点変位（降伏荷重を下回らない変位の最大値）の実験値と計算値の比 (n_{exp} / n_{cal}) を示している。図 - 11 において，実線より左側が接合部に要求される安全性であり，実線に近い程，経済性に優れていることを意味する。現行案，修正案 1，および修正案 2 を用いて試算した結果，修正案 1 および 2 とともに，要求される安全性を満足し，

かつ，現行案に比べ経済的に定着長を算定できることがわかった。

また，本提案式を標準的なラーメン高架橋接合部に適用させた場合，部材諸元にもよるが，修正案 1 で約 10% ~ 20%，修正案 2 で 20% 以上の定着長を低減できることが試算された。

4. まとめ

本研究によって行った実験および検討の範囲内において，以下の知見が得られた。

- (1) ラーメン高架橋接合部の補強鉄筋は，現行の算定方法では考慮されていないが，杭の帯鉄筋と同様に，軸方向鉄筋の定着性能を向上させることがわかった。
- (2) 接合部の形状寸法は，現行の算定方法では考慮されていないが，終局時の定着性能に影響を与えることがわかった。
- (3) 接合部のひび割れ性状の観察から，式(3)に示す算定式の修正を提案した。そして，実験結果をもとに安全性，および経済性について検証し，良好な結果を得た。
- (4) 接合部の補強鉄筋を杭の帯鉄筋と同様に横方向鉄筋として考慮する式(4)に示す算定式の修正を提案し，実験結果をもとに検証し，良好な結果を得た。
- (5) 本提案式を標準的なラーメン高架橋接合部に適用させた場合，修正案 1 で約 10% ~ 20%，修正案 2 で 20% 以上の定着長を低減できることが試算された。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，1999.10
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造，丸善，1999.10
- 3) Orangun, C.O., Jirsa, J.O. and Breen, J.E.: A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, journal of ACI, Proceedings Vol.74, No.3, pp.114 ~ 122, 1977.3