

論文

[2150] ハンチのついた部材における曲げの有効高さに関する実験的研究

菅野谷敏彦*1・斉藤啓一*2・輿石逸樹*3・古谷時春*4

1. はじめに

鉄道におけるラーメン高架橋や、ボックスカルバートの部材にはハンチを設ける場合が多い。このような部材の構造解析手法については、鉄道構造物設計標準[1]、土木学会[2]、DIN[3]等に記述があるが、断面計算において部材の曲げの有効高さは、いずれもハンチの1:3よりゆるやかな部分のみを有効とすることとされている。

しかし、鉄筋コンクリート部材のはり理論に基づく部材断面の曲げ解析においては、全断面を有効として取り扱うのが一般的であることから、このようなハンチのついた部材においても、曲げに対する有効高さは、部材の全高さとして取り扱える可能性がある。

そこで、これらのハンチのついた部材の曲げ破壊性状ならびに耐力を明らかにする目的で、ハンチの大きさ、角度やハンチに配置した鉄筋量などに着目した試験体による正負交番載荷試験を実施したので結果を以下に報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体の形状寸法

(1) 試験体寸法とパラメータ

試験体の形状は、図-1に示すような鉄道におけるラーメン高架橋の上層梁と接合部を想定している。

試験体の諸元を図-2および表-1に示す。

着目した主なパラメータは、ハンチの大きさ(1a: 0~65cm)、ハンチの角度(α : 0~30°)、ハンチに配置した鉄筋(以下ハンチ筋という)の量(A_s : 0~3.80cm²)、ハンチに配置した帯鉄筋の間隔(4.5, 7.5cm)ならびにはりの部材高さ(25, 35cm)等である。なお、試験体の形状寸法を決定するに際し、4.1に示す通常の曲げ解析算定手法によれば、ハンチ筋を図-2に示すように配置した場合、ハンチの角度が30°以上になるとハンチ始点

(図-4参照)で必ず曲げ破壊にいたることが計算で明らかであったので、ハンチの角度が30°以下でまずこのような計算手法の確認を主とすることとした。

表-1 試験体の諸元

試験体 NO	ハンチの 大きさ 1a(cm)	ハンチの 角度 α (°)	ハンチ筋量 (片側) A_s (cm ²)	ハンチの帯 鉄筋間 隔(cm)	はりの 高さ (cm)	コンクリート 強度 (kg/cm ²)
9201	-	-	-	-	25	268
9202	45	18.4	0.00	-	25	258
9203	45	10.0	0.00	-	25	255
9204	45	30.0	0.00	-	25	331
9205	25	18.4	0.00	-	25	275
9206	65	18.4	0.00	-	25	297
9207	-	-	-	-	35	379
9208	45	18.4	0.00	-	35	321
9209	45	10.0	0.00	-	35	350
9210	-	-	-	-	25	258
9211	45	18.4	3.80	7.5	25	316
9212	45	18.4	2.69	7.5	25	363
9213	45	18.4	2.14	7.5	25	336
9214	45	18.4	1.43	7.5	25	261
9215	45	18.4	1.43	4.5	25	257

*1 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 大曲工事区 施設技術係 (正会員)
 *2 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 工事管理室 設計第一係長 (正会員)
 *3 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 工事管理室 課長代理
 *4 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 工事管理室 亀戸試験室長 (正会員)

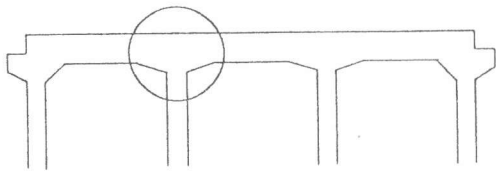


図-1 ラーメン高架橋

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸 法(mm)	スラブ (cm)	水セメント 比(%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G5-10	粗骨材 G10-20	混和剤
20	8±2	46.4	41.1	345	160	219	322	761	1.1

表-2 鉄筋強度

鉄筋	名称	降伏強度	引張強度
D13	SD295A	3510	5200
D10	SD295A	3500	4820

(2)使用材料

コンクリートの配合を表-2に示す。セメントは、普通ポルトランドセメントとした。

鉄筋は異形鉄筋(SD295A) D13, D10を使用した。帯鉄筋は全て D10である。鉄筋の引張り試験結果を表-3に示す。

(3)配筋方法

配筋状況を図-2に示す。鉄筋の定着部のとし、いずれも曲げ内半径は35mm一定とした。形状は、柱・はりの主鉄筋では、直角フックなお、試験体は、柱降伏先行型とした。

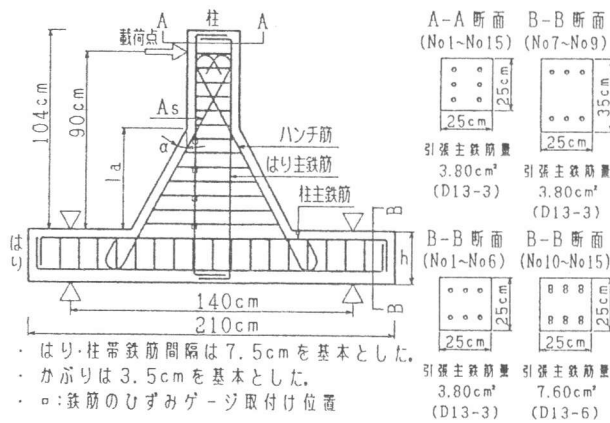


図-2 試験体の形状寸法

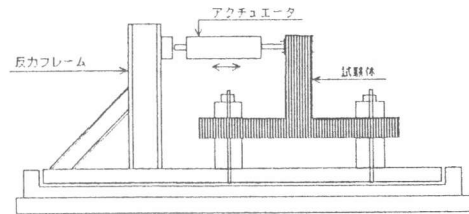


図-3 荷重装置

2.2 荷重装置および荷重方法

図-3に荷重装置を示す。装置の都合上、逆T型状に試験体を設置し、柱の上部に反力フレームを介してアクチュエータにより水平荷重を荷重した。

荷重は、まず、0.5tonづつ静的に一方方向に増加させ、柱主鉄筋およびハンチ筋の各点(2.3参照)での鉄筋のひずみを測定し、いずれかの点でひずみが降伏歪ひずみ(1670 μ)に達するまで荷重(以下、正荷重という)する。そのときの荷重荷重を降伏荷重、変位を降伏変位、降伏ひずみに達したひずみゲージ取り付け位置を降伏位置とした。

次に、正荷重で得られた降伏変位まで逆方向に静的に荷重を行い(負荷)除荷する。以下順次、降伏変位を基準の変位として整数倍ごとに変位制御で正負に連続的に10回繰り返しを行い、最初のステップにおける最大荷重が、降伏荷重を下回るまで繰り返し荷重を行った。

2.3 主な測定事項

着目した主な測定事項は、荷重荷重、柱の主鉄筋およびハンチ筋各点でのひずみ、荷重点での水平変位、ひびわれならびに破壊性状である。鉄筋のひずみは、ハンチ終点(図-4参照)から

15cm間隔を基本としてひずみゲージを取り付け、正載荷のみ測定を行った。なお、図-4にはりと柱の接合部各位置での呼び方を示す。

3. 実験結果

実験により得られた測定結果を表-4に示す。表中の最大荷重とは試験中に観測された載荷荷重の最大の値である。また、試験時のコンクリート強度を表-1に示す。

3.1 ひびわれ発生状況

ひびわれは、ハンチのない時には、はりと柱の接合面にほぼ水平に発生したが、ハンチがある場合には、ハンチの始点あるいは終点に最初に発生した。また、ハンチ終点で発生した荷重初期のひびわれは、はり・柱接合部内に向かうが、荷重が増大すると水平になる傾向が認められた。

一方、ハンチ始点に発生するひびわれは、ほとんどが水平方向であった。また、荷重の増大ならびに繰り返しにより、ハンチの始点や終点以外の箇所にもひびわれが発生した。

3.2 破壊状況

荷重変位曲線の包括線が降伏荷重を下回る点を試験体の破壊とし、破壊時点までに発生したひびわれ状況を図-5に示す。

表-4 試験結果一覧

試験体 NO	降伏荷重		降伏位置		最大荷重			破壊位置	
	実測値 (tf)	計算値 (tf)	実測値 (cm)	計算値 (cm)	実測値 (tf)	計算値 (tf)	実測値 (cm)	計算値 (cm)	
9201	2.88	2.59	1.11	0	3.46	2.91	1.19	0	0
9202	6.14	5.06	1.21	30,45	6.59	5.78	1.14	0	44
9203	4.00	3.97	1.01	0	5.10	5.28	0.97	0	0
9204	4.84	5.31	0.91	45	6.06	6.17	0.98	45	46
9205	3.35	3.60	0.93	25	4.45	4.12	1.08	25	24
9206	7.25	7.13	1.02	-15	7.38	9.47	0.78	0	4
9207	2.80	2.68	1.04	0	3.40	3.14	1.08	0	0
9208	5.20	5.14	1.01	0,45	6.20	6.10	1.02	45	44
9209	4.70	4.10	1.15	0	6.00	5.44	1.10	0	0
9210	2.80	2.57	1.09	0	3.30	2.89	1.14	0	0
9211	9.39	8.96	1.05	45	11.59	10.25	1.13	45	44
9212	7.61	7.74	0.98	45	9.86	9.36	1.05	45	44
9213	7.60	6.91	1.10	45	9.30	8.60	1.08	45	44
9214	6.40	5.71	1.12	15	8.20	7.36	1.11	45	44
9215	6.90	5.66	1.22	0	8.50	7.37	1.15	45	44

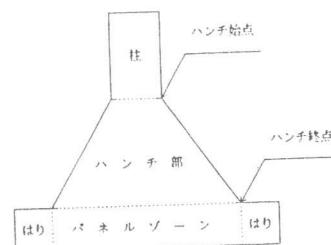
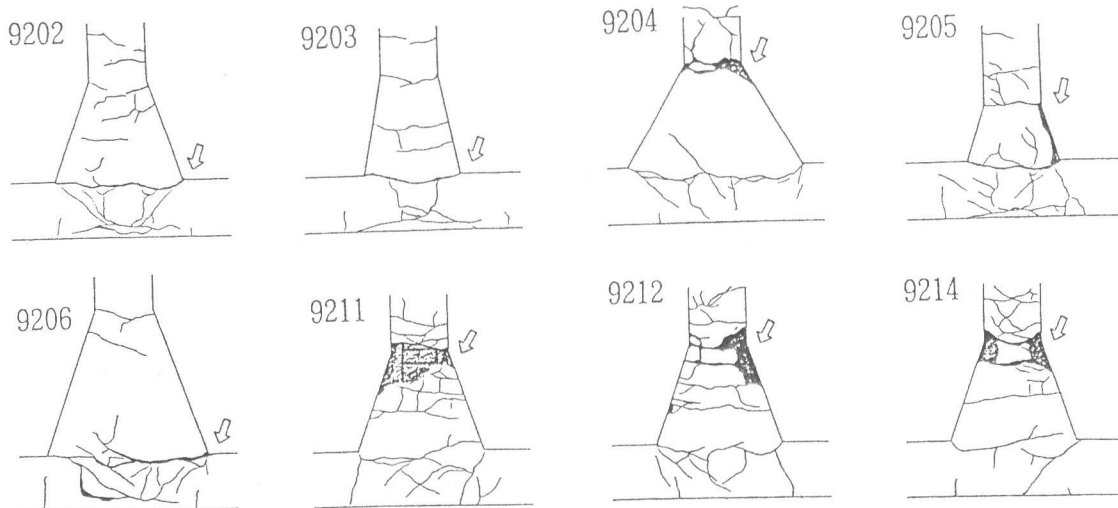


図-4 ハンチ終点・始点



↓ : 破壊位置

図-5 破壊時のひびわれ状況の例

試験体は15体全てハンチ始点あるいはハンチ部においての曲げ破壊であった。

ハンチはついているがハンチ筋を配置していない NO. 9202~9206. 9208. 9209の試験体については、破壊時にもハンチの圧縮部のコンクリートが剥落することなく、比較的健全な状態を保持していた。また、発生したひびわれの中で、最も曲げ破壊に直結したと思われるひびわれの発生位置からハンチ終点までを実測し、表-4中に破壊位置の実測値として示す。

ハンチの角度のみを 0° , 10° (1:5.67) , 18.4° (1:3) , 30° (1:1.73) と変化させた9201 9203 9202 9204 試験体の破壊時のひびわれ状況を見ると、ハンチの角度が $0\sim 18.4^\circ$ の間ではハンチ部にも曲げひびわれが分散して発生しているのに対して、 30° になると曲げひびわれはハンチの始終点に集中しており、ハンチ部には発生していないことがわかる。

また、降伏位置の実測値についてもハンチの角度が 0° と 10° の場合にはハンチ終点となり、 18.4° となるとハンチ終点から30cm 45cm となり、 30° になると45cmすなわちハンチ始点となり、降伏位置がハンチの角度によりハンチ始点から終点までの区間で移動することがわかる。

3.3 着目したパラメータと結果

ハンチの大きさ、ハンチの角度、ハンチ筋の量、はりの高さのみを単独に変化させたシリーズの試験体について、得られた降伏荷重の値を図-6、7、8、表-4にそれぞれ示す。

図-6より、ハンチの角度が 18.4° (1:3) 一定で、ハンチ筋を配置せず、ハンチの大きさ(1a)のみが 0 (9201) 25cm(9205) 45cm(9202) 65cm(9206) へと変化した場合には、1aが増加すると降伏荷重もまた増加する結果となった。

図-7より、ハンチ筋を配置せず、ハンチの大きさ1aが45cm一定で、ハンチの角度のみが 0° (9201) 18.4° (9202) 30° (9204) と変化すると、ハンチの角度が大きくなると降伏荷重も増加するが、 30° となると降伏荷重が若干低下する結果となった。9204試験体は、ハンチの角度が 30° (1:1.73) であるので、ハンチの1:3 より緩やかな部分のみ耐力算定に有効とする現行の設計法では、曲げ降伏荷重や最大荷重ならびにその位置について9202と同じとなり、両者の形状の違いによって計算上は差が生じないものである。

しかし、試験により得られた降伏荷重や最大荷重ならびにひびわれ性状などは、かなりの差が認められる結果となった。このことは、ハンチの角度の影響であると考えられ、曲げの設計については、ハンチの大きさに制限をつけることなく、部材の全高さを考慮する必要性を示唆しているものと考えられる。

図-8より、ハンチの角度が 18.4° 、ハンチの大きさ1aが45cmと一定で、ハンチ筋のみが $0\sim$

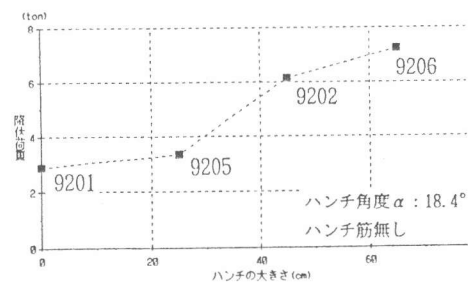


図-6 ハンチの大きさの影響

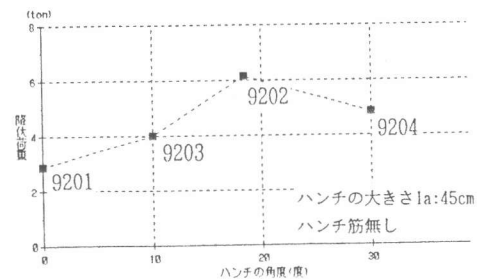


図-7 ハンチの角度の影響

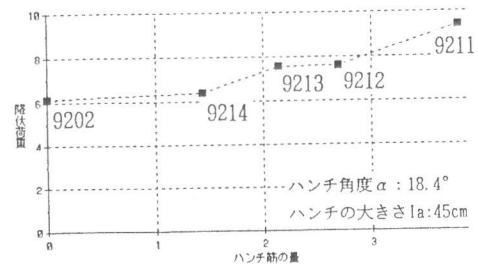


図-8 ハンチ筋量の影響

3.8 cm²と増加した場合には、ハンチ筋の量が多くなると降伏荷重も増加する結果となった。

はり主鉄筋の定着長がはりの降伏荷重に影響をおよぼすことが予想された。そこで、はりの高さのみを25cmと35cmに変えた試験体による比較を行った。結果を表-4に示す。

これより、ハンチの有無ならびに形状の違いに関わらず、両者の降伏荷重には大きな違いが認められなかった。本試験体の形状の範囲内では、はり主鉄筋の定着長の違いは、はりの降伏荷重に大きな影響は与えないようである。

4. 解析

4.1 曲げ降伏荷重ならびに最大荷重の計算方法

図-9に示す荷重載荷点から距離 z における位置の断面における曲げ耐力を求めることを考える。

まず、

①コンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ関係を図-10、11とかていする。

②ひずみは直線分布するとし、降伏耐力(M_y)、最大耐力(M_u)を求める[4]。なお、圧縮部の鉄筋も考慮し、ハンチ筋については、(1)式により角度の補正を行うこととする。

そして、

③荷重載荷点から距離 z における位置の断面が降伏あるいは破壊にいたる時の載荷点における載荷荷重、すなわち降伏荷重($P_{ucal}(z)$)を(2)、(3)式により求める。

次に、

④距離 z を荷重載荷点からハンチ終点まで変化させ、その中で最小値を与える荷重と位置をそれぞれ、降伏荷重の計算値 P_{ycal} 、最大荷重の計算値 P_{ucal} 、降伏位置の計算値、破壊位置の計算値とする。

$$A_s' = A_s \cdot \cos(\alpha) \dots (1)$$

$$P_{ycal}(z) = M_y / z \dots (2)$$

$$P_{ucal}(z) = M_u / z \dots (3)$$

4.2 実測値と計算値との比較

(1)降伏荷重

部材断面の高さを全て有効とし、4.1に示す手法による場合と実測値の比較を図-12に示す。

これより、実測値/計算値は、0.9 ~ 1.2 程度になり、4.1に示すこのような簡易な計算手法により求めた降伏荷重と実測値がほぼ一致する結果となった。

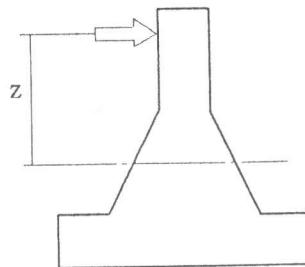


図-9 距離 z

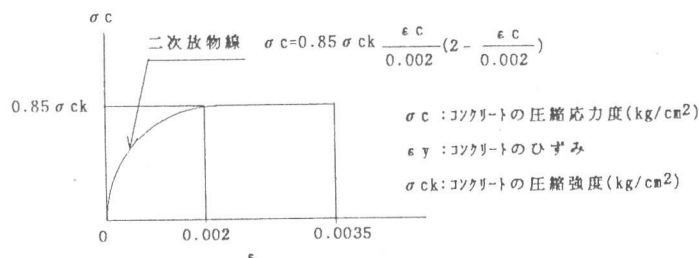


図-10 コンクリートの応力-ひずみ関係

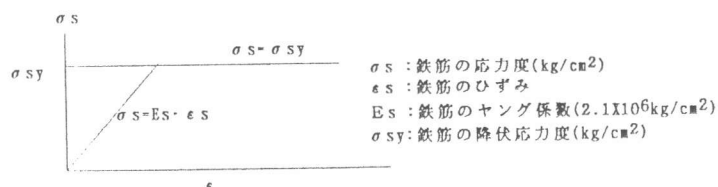


図-11 鉄筋の応力-ひずみ関係

(2)最大荷重

部材断面の高さを全て有効とし 4.1に示す手法による場合と実測値の比較を図-13に示す。

これより、実測値/計算値は、NO.9206 の1体のみが0.78と低い値を示しているものの、他の場合については0.9 ~1.2 程度となり、最大荷重についても降伏荷重の場合と同様の結果となった。

(3)降伏位置と破壊位置

降伏位置と破壊位置は、ハンチがありハンチ筋が配置された NO.9212~9214の試験体以外の12体では、ほとんどの実測値と計算値が一致した。

実測値と計算値が異なる NO.9212~9214試験体について、降伏時の各ひずみゲージ取り付け位置での実測値を詳細に調べた。結果を図-14~16に示す。これより、NO.9214について計算で求められた降伏位置における実測ひずみは、降伏ひずみに近い値が観測されていたが、NO.9212、9213については一致していなかった。

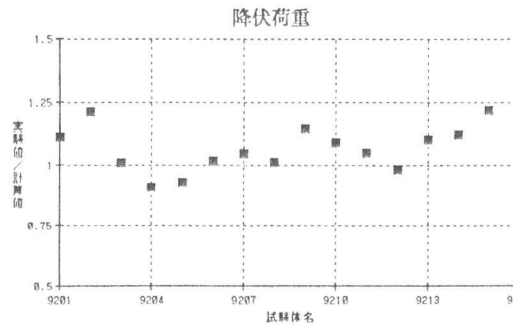


図-12 降伏荷重

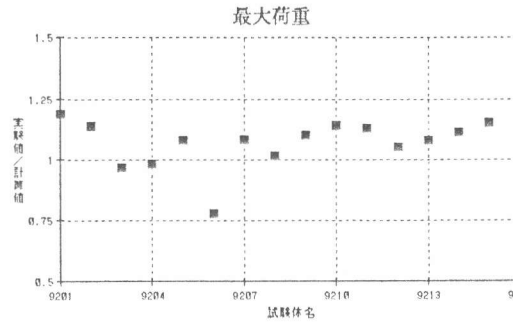


図-13 最大荷重

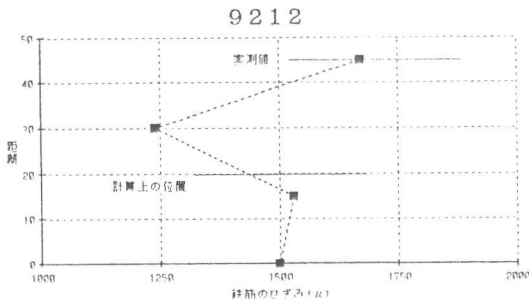


図-14 試験体 9212

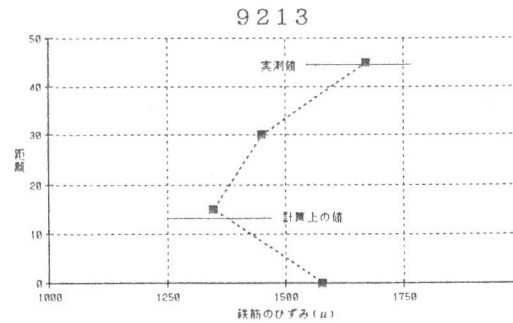


図-15 試験体 9213

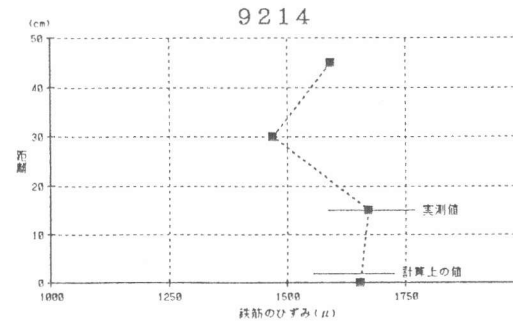


図-16 試験体 9214

5. まとめ

本試験の範囲で得られた主な事項を以下に示す。
ハンチのついた部材における曲げ降伏荷重、最大荷重、降伏位置ならびに破壊位置は、4.1 に示す簡易な計算手法により求めることができる。

〔謝辞〕 本試験にあたり、試験体製作については、小沢コンクリート工業技術研究所に、載荷試験については、東日本旅客鉄道鶴亀戸試験室の方々、計画解析については、同東京工事事務所石橋忠良氏に御指導いただいた。感謝の意を表します。

【参考文献】 [1] 鉄道構造物設計標準・同解説コンクリート構造物, 丸善 [2] コンクリート標準示方書平成3年版 土木学会 [3] DIN 1045 1972 pp77 [4] コンクリート構造の限界状態設計法 共立出版