

論文 軸方向鉄筋端部に定着体を取り付けた杭・柱・地中梁接合部に関する実験的検討

井口 重信^{*1}・坂本 真紀^{*1}・滝沢 聡^{*1}

要旨：鉄道用鉄筋コンクリートラーメン高架橋の杭・柱・地中梁接合部における杭と柱軸方向鉄筋の端部に定着体を取り付け、さらにその周囲を鋼管で拘束することで、重ね継ぎ手長を短くすることを検討した。接合部を摸した縮小模型試験を実施し、杭および柱の定着体に挟まれる部分のせん断耐力について、鋼管の拘束影響を考慮した実験式を提案した。その結果、鋼管の拘束による影響は鋼管径 t を鋼管内径 R_i で除した t/R_i の一次式により考慮することが可能であり、 t/R_i が 0.022 以下の範囲では、せん断耐力と t/R_i に線形の関係があることが確認された。

キーワード：接合部、重ね継ぎ手、定着体、せん断耐力、拘束

1. はじめに

鉄道用鉄筋コンクリートラーメン高架橋の杭・柱・地中梁接合部においては、杭と柱の軸方向鉄筋の定着を確保するために十分な高さの地中梁を設ける必要がある。しかし、地下水が高い地域では、地下水位以下での施工部分を少なくするため地中梁高さをなるべく小さくしたいというニーズがある。他方、耐震設計で想定すべき地震力の増大に伴って、杭や柱に配置すべき軸方向鉄筋量が増え、太径化する傾向にある。そのため、定着長を確保するため地中梁高さを高くしなければならない場合がある。また、接合部においては、一般的に用いられる定着方法である軸方向鉄筋端部の 180° フックに変えて、機械式定着体などを設けて配筋の簡素化を図る例はあるが、定着長を短くするまでには至っていない¹⁾。

本検討は、図 - 1(a)に示すように、杭と柱の軸方向鉄筋端部に定着体を取り付け、その周囲を鋼管等で拘束することで、その定着長を短くすることを目的としたものである。本論文では、図 - 1(b)のように杭と柱の軸方向鉄筋が相互に重ね継ぎ手を形成し鋼管で拘束された部分のみに着目し、鋼管の拘束環境下での重ね継ぎ手長について実験的に検討したので、以下に記す。

2. 試験概要

2.1 試験体

試験体諸元を表 - 1 に、試験体の形状を図 - 2 に示す。なお、表 - 1 には、後述する材料試験結果、載荷試験結果も合わせて示す。

試験体は鉄筋コンクリートラーメン高架橋の杭と柱の接合部を要素的に摸して製作し、接合部周囲のコンクリートなどは省き、また杭と柱の軸方向鉄筋部分についても省略し、定着体部分のみを載荷支点として残したも

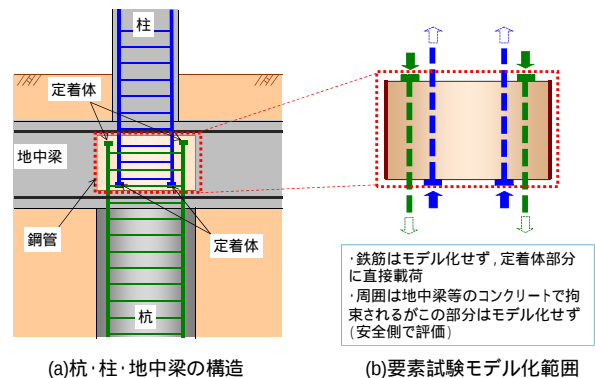


図 - 1 対象構造及びモデル化範囲

のである。杭と柱の鉄筋を配置し両者に引張力を与える試験方法では、鉄筋の降伏で最大荷重となりコンクリート部分での最大荷重を評価できないために、本方法による試験とした。実構造物においては接合部周囲にフーチングや地中梁のための鉄筋コンクリート等で拘束され、また杭および柱の軸方向鉄筋の付着力なども期待されるため、耐力はさらに大きいものと考えられるが、本試験では現象を簡略化し安全側の評価が出来ると考えられる。

主なパラメーターは鋼管による拘束効果を把握するため、鋼管径 D 、鋼管板厚 t 、部材高さ H 、載荷点治具と支点治具の中心間水平距離 a （以下、せん断スパンと呼ぶ）、コンクリート強度 f'_c である。

使用材料の材料試験値を表 - 1 に示す。コンクリートの圧縮強度は実験時点でのものである。鋼管については、試験体で使用したものと同ロッドのテストピース 3 本ずつ引張試験を行った結果の平均値である。鋼管は、板厚 t が 3.2mm のものについては SS400 の平鋼板を管状に加工して用い、板厚 t が 6.4mm および 9.5mm のものに

*1 東日本旅客鉄道（株） 上信越工事事務所 工修 （正会員）

表 - 1 要素試験体諸元および載荷試験結果

試験体 名称	諸元									材料試験結果	実験値	
	外径 D(mm)	内半径 Ri(mm)	部材高 H(mm)	鋼板厚 t(mm)	t/Ri	上部載荷 点位置 R1(mm)	下部支点 位置 R2(mm)	せん断 スパン a(mm)	a/H	コンクリート 圧縮強度 f _c (N/mm ²)	最大荷重 P _{exp} (kN)	最大せん断 応力 τ _{exp} (N/mm ²)
Ea-1	400	200	240	0	0.00	100	160	60.0	0.25	18.6	366	2.57
Ea-2	400	200	240	0	0.00	100	160	60.0	0.25	35.6	839	5.88
Ea-3	400	200	240	0	0.00	100	160	60.0	0.25	45.8	908	6.36
Ea-4	406.4	200	240	3.2	0.02	100	160	60.0	0.25	28.8	1554	10.89
Ea-5	406.4	200	240	3.2	0.02	100	160	60.0	0.25	26.9	1560	10.94
Ea-6	406.4	200	240	3.2	0.02	100	160	60.0	0.25	49.3	2069	14.51
Ea-7	406.4	200	240	3.2	0.02	100	160	60.0	0.25	35.6	1646	11.54
Ea-8	406.4	196.8	240	6.4	0.03	100	160	60.0	0.25	19.3	1312	9.20
Ea-9	406.4	196.8	240	6.4	0.03	100	160	60.0	0.25	49.3	2723	19.09
Ea-10	406.4	196.8	240	6.4	0.03	100	160	60.0	0.25	35.6	2353	16.50
Ea-11	406.4	193.7	240	9.5	0.05	100	160	60.0	0.25	18.6	1483	10.40
Ea-12	406.4	196.8	80	6.4	0.03	100	160	60.0	0.75	19.3	349	5.38
Ea-13	406.4	193.7	80	9.5	0.05	100	160	60.0	0.75	19.3	354	5.45
Ea-14	406.4	196.8	160	6.4	0.03	100	160	60.0	0.38	25.3	1195	11.89
Ea-15	406.4	193.7	160	9.5	0.05	100	160	60.0	0.38	25.3	1435	14.29
Ea-16	550	275	240	0	0.00	100	160	60.0	0.25	37.7	965	6.77
Ea-17	550	275	240	0	0.00	140	200	60.0	0.25	26.5	988	5.75
Ea-18	550	275	240	0	0.00	140	240	100.0	0.42	28.4	538	2.30
Ea-19	550	275	240	0	0.00	180	240	60.0	0.25	29.6	812	4.10
Ea-20	550	275	240	0	0.00	180	240	60.0	0.25	45.0	886	4.47
Ea-21	550	275	240	0	0.00	205	240	35.0	0.15	26.3	998	5.86
Ea-22	550	275	100	0	0.00	175	200	25.0	0.25	27.0	590	10.49
Ea-23	550	275	100	0	0.00	215	240	25.0	0.25	28.4	468	7.36
Ea-24	550	275	170	0	0.00	157	200	43.0	0.25	27.0	634	5.62
Ea-25	550	275	320	0	0.00	120	200	80.0	0.25	27.0	1014	4.23
Ea-26	558.8	276.2	240	3.2	0.01	100	160	60.0	0.25	32.5	1468	10.29
Ea-27	558.8	276.2	240	3.2	0.01	100	240	140.0	0.58	32.5	1046	4.06
Ea-28	558.8	276.2	240	3.2	0.01	140	200	60.0	0.25	28.8	1628	9.48
Ea-29	558.8	276.2	240	3.2	0.01	140	240	100.0	0.42	32.2	1311	5.60
Ea-30	558.8	276.2	240	3.2	0.01	180	240	60.0	0.25	28.8	1679	8.46
Ea-31	558.8	276.2	240	3.2	0.01	205	240	35.0	0.15	32.5	1746	10.25
Ea-32	558.8	273	240	6.4	0.02	100	160	60.0	0.25	37.7	2224	15.59
Ea-33	558.8	273	240	6.4	0.02	140	200	60.0	0.25	33.3	2261	13.16
Ea-34	558.8	269.9	240	9.5	0.04	100	160	60.0	0.25	32.8	1973	13.84
Ea-35	558.8	269.9	240	9.5	0.04	100	240	140.0	0.58	32.2	1296	5.03
Ea-36	558.8	269.9	240	9.5	0.04	140	200	60.0	0.25	33.3	2685	15.62
Ea-37	558.8	269.9	240	9.5	0.04	140	240	100.0	0.42	26.5	1804	7.71
Ea-38	558.8	269.9	240	9.5	0.04	180	240	60.0	0.25	26.5	2651	13.37
Ea-39	558.8	266.7	240	12.7	0.05	100	160	60.0	0.25	23.1	2225	15.60
Ea-40	558.8	266.7	240	12.7	0.05	140	200	60.0	0.25	32.8	2298	13.37
Ea-41	558.8	276.2	100	3.2	0.01	215	240	25.0	0.25	32.5	1029	16.18
Ea-42	558.8	273	100	6.4	0.02	215	240	25.0	0.25	32.5	1209	19.01
Ea-43	558.8	273	160	6.4	0.02	100	200	100.0	0.63	29.9	924	6.24
Ea-44	558.8	273	160	6.4	0.02	100	240	140.0	0.88	29.9	702	3.44
Ea-45	558.8	276.2	170	3.2	0.01	198	240	42.0	0.25	27.0	1388	10.89
Ea-46	558.8	273	187	6.4	0.02	189	236	47.0	0.25	37.7	2013	14.04
Ea-47	558.8	273	187	6.4	0.02	100	146	46.0	0.25	29.9	1676	17.02
Ea-48	558.8	273	255	6.4	0.02	175	240	65.0	0.25	24.4	2244	10.44
Ea-49	558.8	276.2	320	3.2	0.01	160	240	80.0	0.25	32.5	1937	6.91
Ea-50	558.8	273	320	6.4	0.02	160	240	80.0	0.25	29.9	2815	10.05
Ea-51	700	350	240	0	0.00	100	160	60.0	0.25	31.8	976	6.84
Ea-52	700	350	240	0	0.00	100	240	140.0	0.58	29.9	315	1.22
Ea-53	700	350	240	0	0.00	180	240	60.0	0.25	26.3	853	4.30
Ea-54	700	350	240	0	0.00	140	240	100.0	0.42	26.3	553	2.36
Ea-55	700	350	240	0	0.00	205	240	35.0	0.15	26.3	1125	6.60
Ea-56	711.2	352.4	240	3.2	0.01	100	160	60.0	0.25	23.1	1533	10.75
Ea-57	711.2	352.4	240	3.2	0.01	100	300	200.0	0.83	23.1	697	1.92
Ea-58	711.2	349.2	240	6.4	0.02	100	160	60.0	0.25	31.8	2079	14.58
Ea-59	711.2	346.1	240	9.5	0.03	100	160	60.0	0.25	31.8	2242	15.72
Ea-60	711.2	342.9	240	12.7	0.04	100	160	60.0	0.25	32.8	2114	14.82

については STK400 の既製形鋼を用いた。

2.2 試験方法

試験状況を図 - 3 に示す。試験は、定着体を端部につけた鉄筋どうしの重ね継ぎ手長に与える鋼管の拘束効果を把握するため、軸方向鉄筋すべてに引張力を載荷した場合を想定している。載荷は、定着体を想定した鋼製円柱治具を介して圧縮力として作用させることで行った。

上側の載荷点および下側の支点には鋼製円柱治具を用いた。鋼製円柱治具は D16 の鉄筋に用いられる一般的な定着体寸法を参考に径 43mm とし、高さは載荷時の押し込みを考慮して 100mm とした。床面に支点側となる鋼製円柱治具を試験体と同心円上に均等な間隔で配置し、その上に試験体を設置した。さらに試験体の上に支点側の鋼製円柱治具を支点と同数配置し、その上から載荷板を

介して鉛直ジャッキにより鉛直下方へ静的載荷を行った。

2.3 計測項目

主な計測項目は、載荷荷重と鉛直ジャッキによる鉛直変位、鋼管の外表面に貼付したワイヤーストレインゲージによる鋼管のひずみである。ワイヤーストレインゲージは、鋼管の高さ方向の3～5段に、周方向に90°ピッチで貼付した。

3. 試験結果

3.1 損傷過程と破壊タイプ

図 - 4 に鋼管の有無以外の諸元が同じ Ea-16 と Ea-32 の荷重 - 変位関係を、図 - 5、図 - 6 に試験終了時の損傷状況をそれぞれ示す。なお、図 - 6(c)は試験終了後に鋼管を撤去した時点のもの、図 - 6(d)は鋼管撤去後に試験体中央をワイヤーソーにより切断した断面である。

Ea-16 は、最大荷重に至る直前に試験体上面および下面に、載荷点および支点の鋼製治具付近から放射状に外側へ伸びるひび割れが数本発生し、そのひび割れが試験体側面まで貫通すると、上下の鋼製治具を配置した円周より外側の部分のコンクリートが剥落し、急激に耐力が低下した。この傾向は、Ea-18, Ea-52 および Ea-54 を除く鋼管に拘束されていない試験体すべてに共通する傾向であった。これらを割裂破壊タイプと呼ぶことにする。

Ea-32 は、最大荷重に至る前に、試験体上面および下面に、載荷点および支点の鋼製治具付近から放射状に外側に伸びるひび割れが発生した。このひび割れ幅はそれほど拡大せず、荷重の増加には影響が少なかった。最大荷重付近では、試験体上面および下面において、載荷治具の中心を結んだ円状にひび割れが発生し、上面においてはその円の内側が沈むように、下面においてはその内側が突出してきた。最大荷重後も試験体のコア部分の押し抜きはゆっくりと進み、荷重も徐々に低下していった。試験終了後に、鋼板を撤去し試験体中央で切断したところ、上面の載荷点から下面の支点側へ内側のコア部分が押し抜かれる状況が確認できた。これらを、押し抜きせん断破壊タイプと呼ぶ。

Ea-18, Ea-52 および Ea-54 などの鋼管で拘束されておらず、部材高 H に比べてせん断スパン a が比較的大きいものについては、下面の中央付近に曲げひび割れが発生し耐力が低下した。Ea-18, Ea-52 および Ea-54 を除く試験体については、前述の割裂破壊タイプおよび押し抜きせん断破壊タイプのいずれかの損傷形態を示した。

3.2 最大荷重

鋼板厚 t と最大荷重の関係を図 - 7 に、部材高 H と最大荷重の関係を図 - 8 に示す。なお、図 - 7、図 - 8 に示す全鉄筋降伏荷重とは、載荷治具と同本数の D16 (SD390) 異形鉄筋の、引張降伏荷重規格値の合計であ

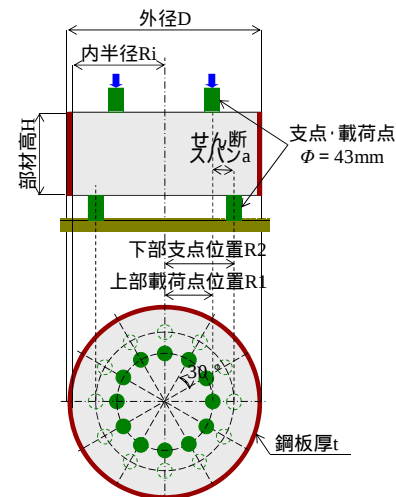


図 - 2 試験体一般図



図 - 3 試験状況

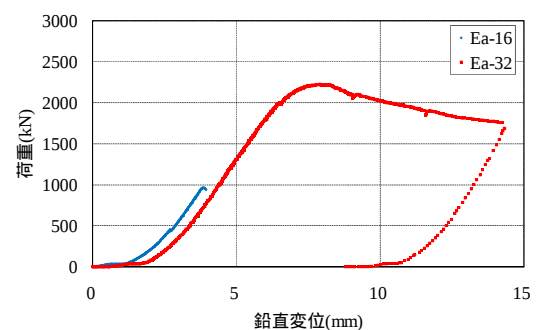


図 - 4 荷重 - 変位曲線 (Ea-16, Ea-32)

る。

図 - 7 より、鋼板厚 t が比較的小さい範囲では鋼板厚 t が大きいほど最大荷重も大きい傾向にあるが、鋼板厚 t が比較的大きい範囲では鋼板厚と最大荷重の依存性が小さい結果となった。しかし、鋼板で拘束した試験体については全鉄筋降伏荷重よりも十分大きい最大荷重とな

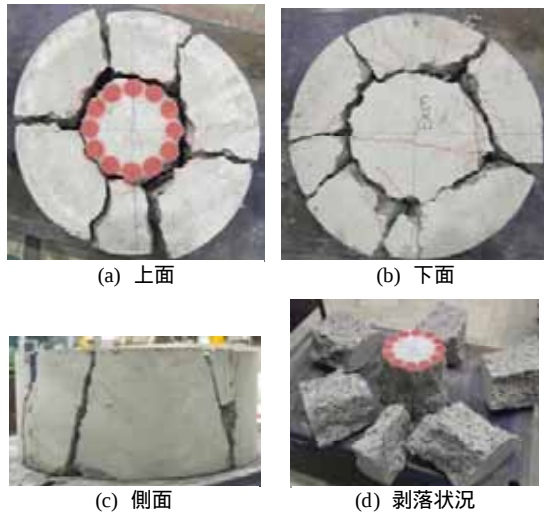


図 - 5 試験終了時の損傷状況 (Ea-16)

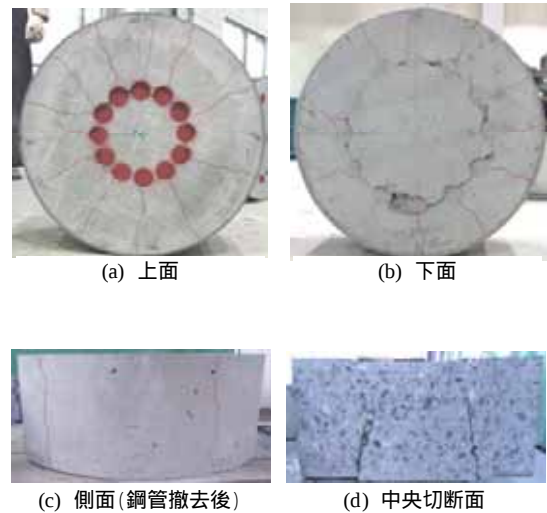


図 - 6 試験終了時の損傷状況 (Ea-32)

っていることから、これらの試験条件の範囲では、重ね継ぎ手の性能を十分満足する結果となった。

図 - 8 より、コンクリート強度のばらつきがあるため単純に比較はできないが、部材高が大きいほど最大荷重が大きい傾向は確認できた。部材高 H が 160mm 以上の範囲では、全鉄筋降伏荷重よりも大きい最大荷重となっていることから、今回の試験条件の範囲では 10φ (160mm) の定着長があれば、重ね継ぎ手の性能を満足する結果となった。

3.3 鋼板ひずみ

最大荷重時における鋼板の周方向ひずみの分布を図 - 9 に示す。鋼板の周方向ひずみは下方ほど大きい分布となった。降伏をする試験体については、下方のひずみゲージから順に上方へ降伏していった。

4. 考察

4.1 評価方法の検討

割裂破壊タイプ、および押し抜きせん断破壊タイプともに、いずれも図 - 10 のように載荷点と支点を結ぶ円錐台状にせん断破壊面が観察されたことから、最大荷重 P_{max} をこのせん断破壊面の面積 S で除した最大せん断応力 τ_{max} で評価することにした。

$$\tau_{max} = P_{max} / S \quad (1)$$

各試験体の最大せん断応力の実験値 τ_{max} を表 - 1 に示す。

4.2 f'_c の影響

コンクリート強度 f'_c と最大せん断応力 τ_{max} の関係は図 - 11 のようになる。図 - 11 に示す結果は、コンクリート強度 f'_c 以外の諸元がすべて同じ試験体である。

一般に、コンクリートのせん断耐力はコンクリート強度 f'_c の 1/2 乗、1/3 乗、2/3 乗に比例することから、これらの中で最も試験結果と整合するものを求めると、 τ_{max} が f'_c の 2/3 乗に比例すると仮定した場合が最も試験結果

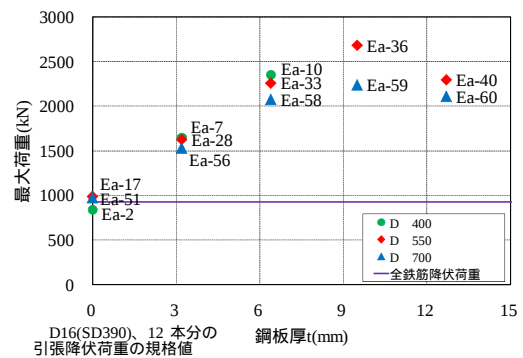


図 - 7 鋼板厚 t と最大荷重の関係

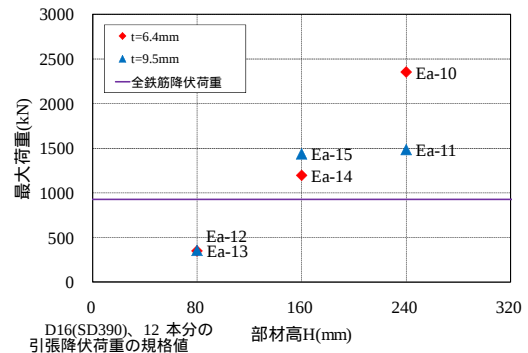


図 - 8 部材高 H と最大荷重の関係

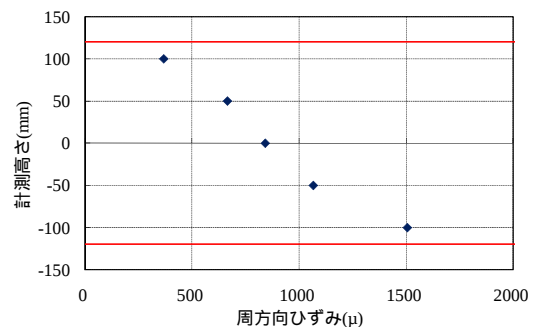


図 - 9 鋼板ひずみ (Ea-32)

と整合した。

$$\tau_{max} = \alpha_1 \cdot f'_c{}^{2/3} \quad (3)$$

4.3 a/H の影響

せん断スパン a と部材高 H の比 a/H (以下, せん断スパン比と呼ぶ) と, 最大せん断応力 τ_{max} の関係を図 - 12 に示す。図 - 12 に示す結果は, せん断スパン比 a/H 以外の諸元がすべて同じ試験体同士を比較したものである。図 - 12 の Y 軸の値は, 試験で得られた最大せん断応力 τ_{max} をコンクリート強度 f'_c の $2/3$ 乗で除してコンクリート強度 f'_c の影響を除いた値 τ_{max}^{*1} である。

$$\tau_{max}^{*1} = \tau_{max} / f'_c{}^{2/3} \quad (4)$$

τ_{max}^{*1} がせん断スパン比 a/H のべき乗に比例すると仮定すると, a/H の -1.166 乗に比例すると仮定した場合が試験結果と最もよく整合した。ただし, a/H 0.25 の範囲については Ea-31 のみしか試験を行っていないため今後確認が必要だと思われる。

$$\tau_{max}^{*1} = \alpha_2 \cdot (a/H)^{-1.166} \quad (5)$$

$$\tau_{max} = \alpha_2 \cdot (a/H)^{-1.166} \cdot f'_c{}^{2/3} \quad (5')$$

(いずれも 0.25 a/H の場合)

4.4 部材高さ H の影響

部材高さ H と最大せん断応力 τ_{max} の関係は図 - 13 に示す。図 - 13 に示す結果は, 部材高さ H 以外の諸元がすべて同じ試験体である。図 - 13 の Y 軸の値は, τ_{max} を f'_c の $2/3$ 乗, および a/H の -1.166 乗で除して, これらの影響を除いた値 τ_{max}^{*2} である。

$$\tau_{max}^{*2} = \tau_{max} / (a/H)^{-1.166} \cdot f'_c{}^{2/3} \quad (6)$$

τ_{max}^{*2} が $1000/H$ のべき乗に比例すると仮定すると, $1000/H$ の 0.45 乗で近似した場合が試験結果と最もよく整合した。

$$\tau_{max}^{*2} = \alpha_3 \cdot (1000/H)^{0.45} \quad (7)$$

$$\tau_{max} = \alpha_3 \cdot (1000/H)^{0.45} \cdot (a/H)^{-1.166} \cdot f'_c{}^{2/3} \quad (7')$$

(いずれも 0.25 a/H の場合)

4.5 t/R_i の影響

鋼管等で拘束されることで, 図 - 14 に示すように, 内部のコンクリートには内圧 p_i が作用すると考えられる。作用する内圧 p_i については, 薄肉円筒理論による力のつりあい (式(8)) から, 式(10)のように求められる。

$$2 \cdot R = \int_0^\pi p_i \cdot R_i \cdot \sin \theta d\theta \quad (8)$$

$$2 \cdot t \cdot \sigma_t = 2 \cdot p_i \cdot R_i \quad (9)$$

$$p_i = \frac{t \cdot \sigma_t}{R_i} \quad (10)$$

ここに, R : 内圧により鋼管に作用する引張力

p_i : 内圧

R_i : 内半径

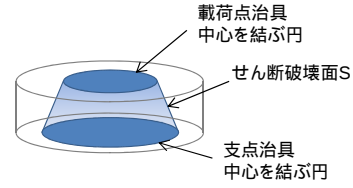


図 - 10 想定されるせん断破壊面

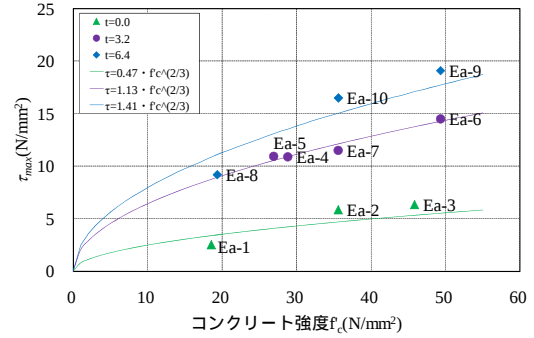


図 - 11 f'_c の影響

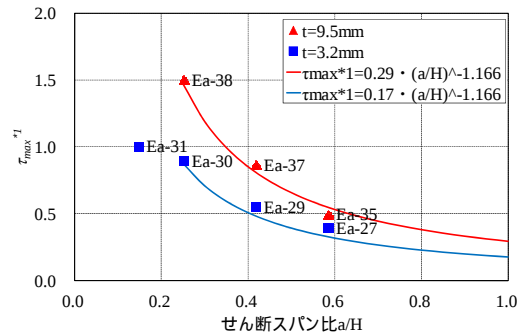


図 - 12 a/H の影響

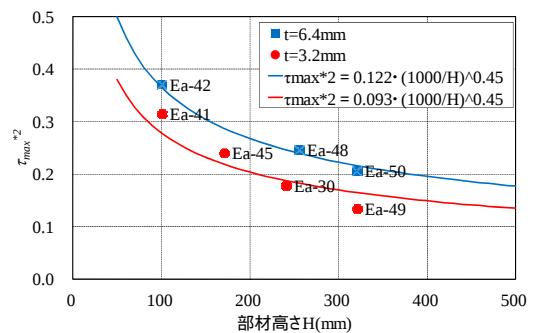


図 - 13 部材高さ H の影響

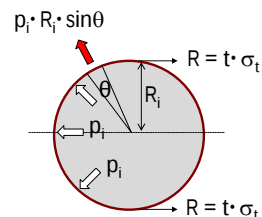


図 - 14 内圧 p_i の考え方

σ_t : 内圧により鋼管に作用する引張応力

t : 鋼管厚

である。式(10)から、内圧 p_i は t/R_i の関数であることが分かる。そこで、内圧 p_i による影響を表すパラメータとして t/R_i をとり、 t/R_i と最大せん断応力 $\tau_{\max}$ の関係を図-15に示す。図-15のY軸の値は、 $\tau_{\max}$ を f'_c の2/3乗、 a/H の-1.166乗、および $1000/H$ の0.45乗で除して、これらの影響を除いた値 $\tau_{\max}^{*3}$ である。

$$\tau_{\max}^{*3} = \tau_{\max} / (1000/H)^{0.45} \cdot (a/H)^{-1.166} \cdot f'_c{}^{2/3} \quad (11)$$

図-15より、 t/R_i 0.022の範囲では t/R_i の増加に伴いは $\tau_{\max}^{*3}$ は線形に増加し、 $0.022 < t/R_i$ の範囲では $\tau_{\max}^{*3}$ は一定値に近づく傾向が見られた。それぞれの範囲で、近似式を求めると式(12)、(13)のようになる。

$$t/R_i \leq 0.022; \tau_{\max cal}^{*3} = 4.53 \cdot (t/R_i) + 0.0538 \quad (12)$$

$$0.022 < t/R_i; \tau_{\max cal}^{*3} = 0.154 \quad (13)$$

(いずれも $0.25 \leq a/H$ の場合)

$t/R_i \leq 0.022$ の範囲では、鋼管径 $D = 700\text{mm}$ の試験体については、最大せん断応力 $\tau_{\max}^{*3}$ が若干大きめの値となった。これについては、載荷治具の中心を結ぶ円周より外側のコンクリート部分が大きくなり、このコンクリート部分の拘束効果が現れたものと推測される。

4.6 最大せん断応力評価式の検討

式(12)、(13)に式(11)を代入することで、式(14)、(15)を得る。

$$t/R_i \leq 0.022; \tau_{\max cal} = f'_c{}^{2/3} \cdot (a/H)^{-1.166} \cdot (1000/H)^{0.45} \cdot \{4.53 \cdot (t/R_i) + 0.0538\} \quad (14)$$

$$0.022 < t/R_i; \tau_{\max cal} = 0.154 f'_c{}^{2/3} \cdot (a/H)^{-1.166} \cdot (1000/H)^{0.45} \quad (15)$$

(ただし、いずれも $0.25 \leq a/H$ の場合)

式(14)、(15)で算出した最大せん断応力の計算値 $\tau_{\max cal}$ と試験結果 $\tau_{\max}$ の関係を図-16に示す。式(14)、(15)により、比較的良好に最大せん断応力を表現できていることが分かる。

5. まとめ

杭・柱の軸方向鉄筋端部に定着体を取り付け、その周囲を鋼管で拘束することで定着長を短くする構造について検討した。その結果、鋼管で拘束することで、本試験の範囲内であれば、定着長を 10ϕ 程度以上確保することで静的な定着性能を満足することがわかった。

鋼管の拘束効果については、鋼管厚 t と鋼管径 R_i の比 t/R_i が 0.022 以下の範囲では、 t/R_i が大きくなるほど拘束効果が大きくなり、また 0.022 を超える範囲では拘束効

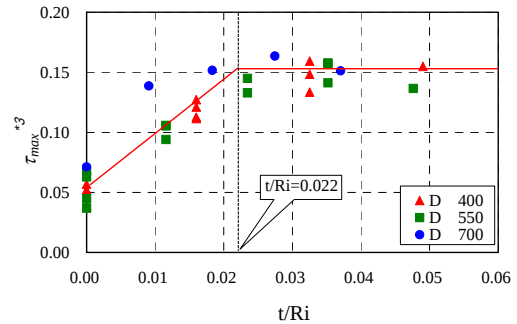


図-15 t/R_i の影響

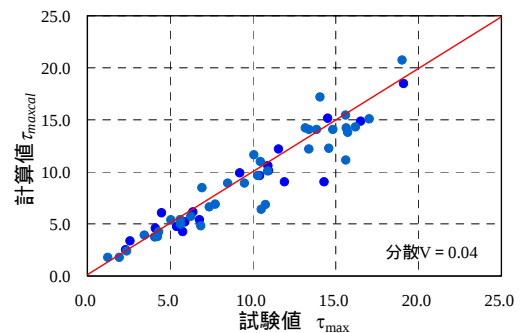


図-16 試験値と計算値の比較

果が小さくなり、最大せん断応力は一定値に近づくことが分かった。また、定着体同士で挟まれる部分の最大せん断応力についても、 t/R_i などのパラメータを考慮することで、式(14)および(15)のように評価できた。

今回の検討では杭・柱の軸方向鉄筋のすべてが引張状態である場合を想定したものであり、実構造物を想定する場合にはさらに考察を重ねる必要がある。また、せん断スパン比 a/H が 0.25 以下の範囲、および載荷治具 t の中心を結ぶ円周より外側のコンクリート部分の拘束効果については検討を加える余地がある。今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 斉藤、田邊、三島：鋼管に拘束されたコンクリートに埋め込まれた鉄塔脚の引抜き定着耐力に関する研究、土木学会論文集 E, vol.63, No.2, pp313-pp326, 2007.6
- 2) 谷村、渡邊、佐藤、棚村：ケーソン基礎頂版のせん断耐力に関する研究、土木学会論文集 No.739, V-60, pp153-pp163, 2003.8
- 3) 石橋、松田、斉藤：大口径くい用フーチングの設計、構造物設計資料, No.72, pp27-pp34, 1982.1