

論文 プレキャスト部材の接合構造に用いるアンカー筋定着部の性能確認

大矢 智之*1・佐々木 尚美*2

要旨: プレキャスト高架橋における梁とスラブの接合作業の省力化に向け、施工性に優れた部材接合構造（アンカー接合）を提案した。アンカー接合を実構造に適用するため、埋込長を 200mm としたアンカー筋定着部の性能確認試験を実施し、配置可能なアンカー筋の条件を整理した。その結果、アンカー筋定着部の耐力は部材へのスラブ相当の配筋およびアンカー孔形状の拡大により向上すること、双方を行うことにより D25 までのアンカー筋が配置可能であること、アンカー孔形状を拡大しない場合は D22 までのアンカー筋が配置可能であることが確認できた。

キーワード: プレキャスト高架橋, プレキャストスラブ, 接合構造, アンカー筋, コーン状破壊

1. はじめに

近年、建設業界では人口減少・少子高齢化による働き手不足の影響で生産性向上に対する注目が高まっている。そのような中で特に注目されているのがプレキャスト工法である。プレキャスト工法は、コンクリート部材を予め工場で製作し、現地で組み立てる工法であり、現場での鉄筋組立作業やコンクリート打込み作業を省略することができるため、施工性の向上および工期短縮が期待できる合理的な工法といえる。しかしながら、部材同士の接合においては現場での鉄筋組立作業およびコンクリート打込み作業を要することが多く、工法全体としては、コストが増加する傾向にある。

本研究では、プレキャスト工法のコスト増加を抑えるため、コスト増加の要因ともなっている部材同士の接合部のうち、梁とスラブの接合部に注目し、接合作業の施工性向上・コスト削減を目的とした接合構造を提案した。また、提案した接合構造の実構造への適用に向け、接合構造に用いるアンカー筋の定着性能に関する試験を実施し、実構造に適用可能なアンカー筋の条件を整理した。本稿ではこれらについて論じる。

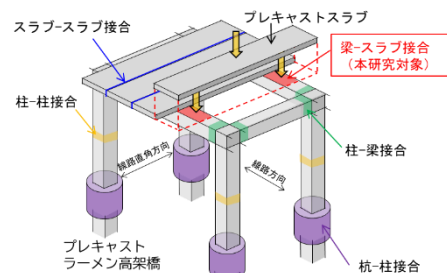


図-1 梁とスラブの接合位置

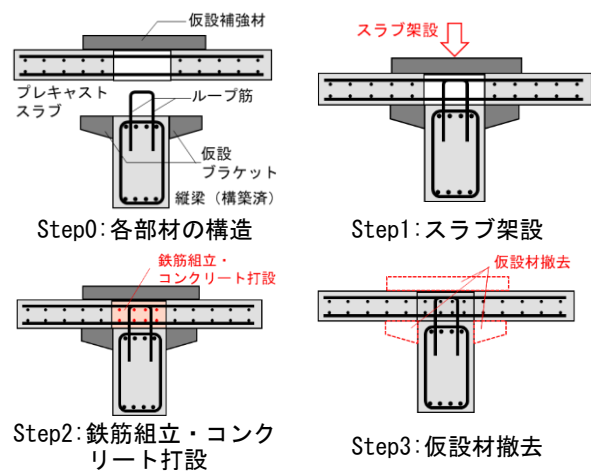


図-2 従来の接合構造

2. 接合構造の提案

図-1 にプレキャストラーメン高架橋における梁とスラブの接合位置を示す。施工は杭、柱、縦梁および横梁の構築後にプレキャストスラブを架設する手順を想定し、今回提案する接合構造はプレキャストスラブと縦梁あるいは横梁との接合を対象としたものである。

図-2,3 に従来の接合構造と今回提案する接合構造（ここでは、線路直角方向の断面における縦梁とスラブの接合を示す。）の施工手順をそれぞれ示す。

1) 従来の接合構造（図-2）

Step0: 縦梁には予めループ筋を配置しておき、架設す

るプレキャストスラブは接合範囲において線路方向の鉄筋を露出させておく。スラブの架設に際し、構造が不安定であることから縦梁には仮設ブラケットを、スラブには仮設補強材をそれぞれ設置しておく。

Step1: 縦梁のループ筋とスラブの線路直角方向鉄筋を重ね合わせるようにスラブを架設する。

Step2: 接合部において鉄筋の組立、コンクリート打設を行う。

Step3: コンクリート硬化後、仮設材を撤去して接合が完了となる。

*1 東日本旅客鉄道（株） JR 東日本研究開発センター 研究員（正会員）

*2 東日本旅客鉄道（株） JR 東日本研究開発センター 主幹研究員 博（工）（正会員）

2) 今回提案する接合構造（図-3）

Step0：縦梁には予めアンカー筋を配置しておき、架設するプレキャストスラブにはアンカー筋を差し込むアンカー孔を設けておく。

Step1：アンカー孔にアンカー筋を差し込むようプレキャストスラブを架設する。

Step2：アンカー孔を無収縮モルタルにて充填する。

Step3：無収縮モルタル硬化により接合が完了となる。

なお、スラブ側のアンカー筋先端についてはアンカー孔に差し込む際の施工性を考慮し定着体は設けていない。図-2,3 に示すように、今回提案する接合構造（以降、アンカー接合という。）を採用することにより、仮設材の設置撤去作業や現場での鉄筋組立作業およびコンクリート打込み作業が不要となり、接合作業における大幅な工期短縮・コスト削減が期待できる。

3. アンカー接合に求められる構造性能

梁とスラブの接合構造には様々な荷重が発生する。ここでは、線路直角方向と線路方向の断面それぞれの断面において、接合構造に発生する主な荷重を整理するとともに、アンカー接合に求められる構造性能を整理する。アンカー接合は従来の接合構造とは異なり、接合面およびアンカー筋のみで荷重に抵抗しなければならず、実構造への適用に向け、それぞれの荷重状態において十分な耐荷性能を有していることを確認しなければならない。

3.1 線路直角方向の断面における荷重状態

接合部を線路直角方向の断面でみた場合の荷重状態を図-4 に示す。スラブ上に作用する死荷重や列車荷重により縦梁上に曲げモーメントが発生し、アンカー筋には引抜き力が発生する。ここで引抜き力が作用するアンカー筋について、縦梁側は十分な定着長が確保できるものの、スラブ側はスラブ厚に制限されるためアンカー筋の材質や径によっては定着長を十分に確保できない可能性がある。実構造に必要とみられるアンカー筋の鋼材量については、縦梁上に発生する曲げモーメントからアンカー筋に発生する引抜き力を算出できる（例えば、一般的な鉄道高架橋における縦梁上の単位長さあたりの曲げモーメント 80.0kNm で計算した場合、アンカー筋の線路方向ピッチを 500mm とするとアンカー筋 1 本あたりには最大 73.0kN 程度の引抜き力が発生し、安全率を考慮すると D22 相当のアンカー筋が必要となる。）が、実際に配置可能なアンカー筋の材質・径については、限られたスラブ厚さの中で十分な定着性能を確保できることを確認しておかなければならない。

3.2 線路方向の断面における荷重状態

接合部を線路方向の断面でみた場合の荷重状態を図-5 に示す。死荷重や列車荷重、あるいは地震力による縦

梁の変形によって、スラブは縦梁からずれようとするため、接合面にはせん断力が発生する。縦梁変形時におけるせん断力の規模を含めた発生メカニズムや、発生するせん断力に対してアンカー筋のせん断力と接合面の摩擦力がどのような分担率で抵抗するのか不明確なため、これらを確認した上で、適切なアンカー筋配置を提案しなければならない。

4. アンカー筋定着部の性能確認試験

上述したとおり、アンカー接合を実構造に適用するためには以下 2 点を整理する必要がある。

①限られたスラブ厚において十分な定着性能を有するアンカー筋の条件の提案

②縦梁変形時、接合面に発生するせん断力の発生メカニズムの確認およびアンカー筋のせん断力と接合面の摩擦力の分担率を踏まえたアンカー筋配置の提案

本稿では、実構造を模擬したアンカー筋定着部の性能確認試験（アンカー筋の引抜き試験）を実施し、①の整理を行った。

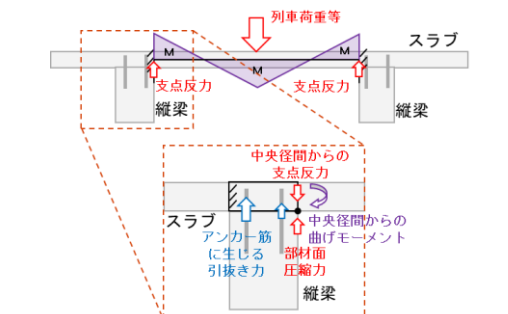
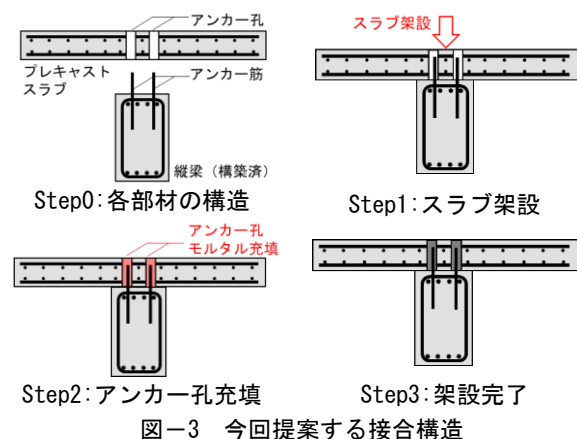


図-4 線路直角方向の断面における荷重状態

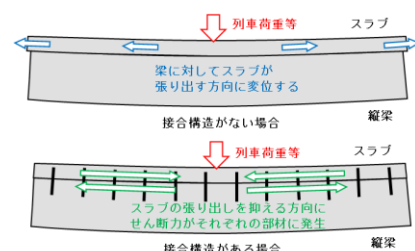


図-5 線路方向の断面における荷重状態

表－1 試験体諸元および材料強度

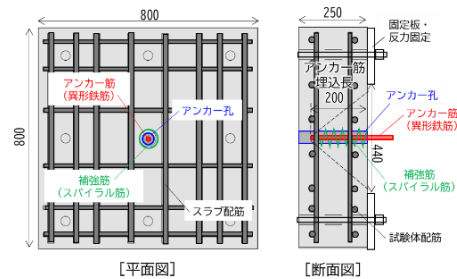
試験体	パラメータ					材料強度 (N/mm ²)			
	アンカー筋		スパイラル筋	スラブ配筋	アンカー孔形状	アンカー筋		コンクリート強度	無収縮モルタル強度
	径	材質				降伏強度	引張強度		
1	D10	SD345	無	有	φ 40	406.0	504.0	47.1	80.9
2	D16	SD345	無	有	φ 40	396.7	553.3	47.7	90.7
3	D22	SD345	無	無	φ 40	347.3	525.3	36.3	89.3
4			有	無	φ 40	347.3	525.3	35.4	89.0
5			無	有	φ 40	358.4	542.3	31.0	96.8
6			無	有	φ 40	388.3	544.2	47.7	90.7
7			無	有	□40×90	358.4	542.3	31.0	96.8
8			無	有	□90×90	358.4	542.3	30.2	96.5
9			無	有	φ 90	371.3	561.6	34.5	112.0
10	D25	SD345	無	無	φ 40	357.9	541.3	44.2	104.2
11			無	有	□40×90	380.0	564.3	29.5	108.8
12			無	有	□90×90	380.0	564.3	29.5	108.8
13	D32	SD345	無	無	φ 50	392.0	550.5	61.6	110.9

4.1 試験概要

図－6 に試験体形状を示す。試験はアンカー筋のスラブ側の定着性能を確認することを目的としているため、実構造のスラブ側定着部を模擬し、上下反転した構造とした。試験体の平面形状は試験装置の反力固定位置の関係から 800mm×800mm とし、厚さは実際のスラブ厚を想定し 250mm とした。試験体は中央にアンカー孔を設けた状態で製作し、埋込長 200mm を確保した状態でアンカー筋を固定し、無収縮モルタルにて固着した。アンカー孔の表面は部材製作時の作業手間を考慮し平滑としている。なお、一部の試験体には実際のスラブ相当の配筋を想定したスラブ配筋 (D22@125mm×D13@200mm) あるいはアンカー孔周囲にスパイラル筋 (D13, らせん径 φ60@40mm) を配置し、それぞれの配置がアンカー筋定着部の性能に与える影響を確認した。スパイラル筋はアンカー筋周囲のひび割れを抑止し、定着部の耐力が向上することを期待して配置した。

表－1 に試験体諸元および材料強度を示す。試験体は全部で 13 体製作し試験を実施した。変更したパラメータはアンカー筋の径、スパイラル筋の有無、スラブ配筋の有無およびアンカー孔の形状の 4 項目である。アンカー筋の材質は全て SD345 であり、記載している降伏強度および引張強度は、各試験体に使用したものと同一ロットの鉄筋を用いて材料試験を行った実強度である。コンクリートの目標強度は 40N/mm² としたが、表－1 のとおり試験体毎に強度のばらつきがみられた。無収縮モルタルは全ての試験体で同製品を用い、100N/mm² 程度の強度が発現している。

写真－1 に試験の実施状況を示す。試験体には反力床への固定のため固定板を載せているが、アンカー筋定着部の性能への影響を避けるため、アンカー筋底部から 45° の影響範囲内は反力板に孔を明けている。孔径はφ440 とし、試験に用いたアンカー筋の最大径 D32 の影響範囲の径 (200mm+32mm+200mm=432mm) よりも大きく設定している。試験装置にて鉛直上方向に静的引張載荷を行った。



図－6 試験体形状



写真－1 試験実施状況

表－2 試験結果

試験体	アンカー筋		載荷試験	
	径	引張耐力 (kN)	最大荷重 (kN)	破壊性状
1	D10	36.0	38.3	鉄筋破断
2	D16	109.9	113.7	鉄筋破断
3	D22	203.3	132.9	コーン状破壊
4		203.3	127.8	コーン状破壊
5		209.9	148.4	コーン状破壊
6		210.6	208.8	鉄筋破断
7		209.9	208.0	鉄筋破断
8		209.9	207.3	鉄筋破断
9		217.4	215.5	鉄筋破断
10	D25	274.3	195.9	コーン状破壊
11		285.9	273.6	鉄筋破断
12		285.9	273.4	鉄筋破断
13	D32	437.2	158.3	コーン状破壊

4.2 試験結果

表－2 に載荷試験による最大荷重と破壊性状を示す。各パラメータの影響について項目ごとに以下に示す。なお、アンカー径に関する結果・実構造に適用可能なアンカー筋の条件に関する考察は 5. 実構造に適用可能なアンカー筋の条件について述べる。

(1) スパイラル筋の影響

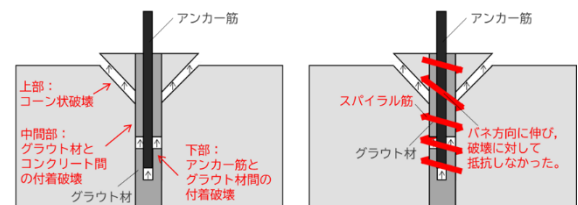
スパイラル筋を配置していない試験体 3 とスパイラル筋を配置した試験体 4 (いずれもアンカー筋は D22 でアンカー孔形状は $\phi 40$, スラブ配筋は無し) の試験後の状況を写真-2 に示す。破壊性状はいずれもコーン状破壊となり、試験体 3 はアンカー筋と共にコーン状に破壊したコンクリートが引抜けた一方、試験体 4 はコーン状に破壊したコンクリートと試験体の間でスパイラル筋がバネのように伸びる変形挙動が見られた。図-7 にそれぞれの試験体における破壊性状の概略図を示す。いずれの試験体もアンカー筋上部ではコンクリートのコーン状破壊、中間部ではグラウト材とコンクリート母材間の付着破壊、下部ではアンカー筋とグラウト材間の付着破壊が発生していた。ここで試験体 4 に配置したスパイラル筋は、破壊面に対して抵抗するような位置に鉄筋の配置がされておらず、コーン状破壊部でバネのように変形したのみで、破壊に対して抵抗しなかったものと考えられる、図-8 にそれぞれの試験体における荷重変位関係を示す。50kN 以降、試験体 3 と比較して試験体 4 の剛性が落ちているが、最大荷重は試験体 3 で 132.9kN、試験体 4 で 127.8kN とほぼ同等の値となった。荷重変位関係の違いについて理由は明らかではないが、スパイラル筋のバネが伸びるような変形挙動により、コンクリートのコーン状の破壊が高さ方向に段階的に発生したものと想定される。また、最大荷重に大きな差はなく、スパイラル筋によるアンカー筋の定着性能に対する補強効果はみられなかった。

(2) スラブ配筋の影響

スラブ配筋を行っていない試験体 3 と配筋を行った試験体 5, 6 (いずれもアンカー筋は D22 でアンカー孔形状は $\phi 40$, スパイラル筋は無し) の試験後の状況を写真-2, 3 に、試験体 5 の破壊性状の概要図を図-9 に、荷重変位関係を図-10 にそれぞれ示す。試験体 3 および 5 はコーン状破壊、試験体 6 は鉄筋破断となった。図-7 に示した試験体 3 の破壊性状と試験体 5 の破壊性状を比較すると試験体 5 ではアンカー筋上部のコンクリートのコーン状破壊の深さが浅くなっている。これは本来のコーン状破壊面に鉄筋が存在していることで破壊が遅れたものと考えられる。試験体 5, 6 はコンクリート強度が異なり、強度はそれぞれ 31.0N/mm^2 , 47.7N/mm^2 である。コンクリート強度の高い試験体 6 は、試験体 5 と比較してアンカー筋定着部の耐力が高くなり、鉄筋破断に至っている。試験体 3 と 5 の結果を比較すると、コンクリート強度はそれぞれ 36.3N/mm^2 , 31.0N/mm^2 で試験体 5 の方がコンクリート強度が低いにもかかわらず、試験の最大荷重は試験体 3 の 132.9kN に対し、148.4kN と大きくなっている。これは上述したとおり、スラブ配筋の存在により本来コーン状破壊するタイミングで破壊が発生しなかったため、耐力が向上したものと考えられる。以上のこ



試験体 3 (スパイラル筋無し) 試験体 4 (スパイラル筋有り)
写真-2 スパイラル筋の影響 (破壊状況)



試験体 3 (スパイラル筋無し) 試験体 4 (スパイラル筋有り)
図-7 破壊性状の概略図

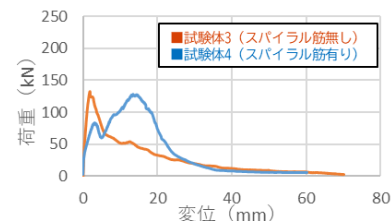
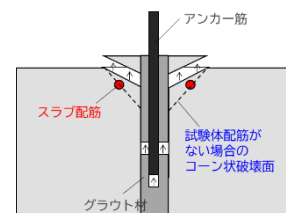


図-8 スパイラル筋の影響 (荷重変位関係)



試験体 5 (スラブ配筋無し) 試験体 6 (スラブ配筋有り)
写真-3 スラブ配筋の影響 (破壊状況)



試験体 5 (スラブ配筋有り)
図-9 破壊性状の概要図

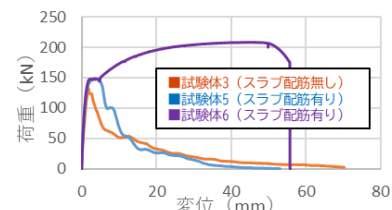


図-10 スラブ配筋の影響 (荷重変位関係)

とから、スラブ配筋はアンカー筋定着部の耐力を向上させる効果があると考えられる。

(3) アンカー孔形状の影響

アンカー孔形状φ40の試験体5とアンカー孔形状を変更した試験体7～9（いずれもアンカー径はD22でスラブ配筋は有り、コンクリート強度は31.0N/mm²程度）の試験結果を比較する。なお、それぞれの試験体におけるアンカー筋とアンカー孔の位置関係を図-11に示す。円形のアンカー孔φ40とφ90については、アンカー孔の中心とアンカー筋の中心が一致するよう配置した。一方、矩形のアンカー孔についてはアンカー孔の角部にアンカー筋中心を配置した。これは既往研究¹⁾により提案されているスラブ同士の接合方法の採用を想定し、縦梁上にプレキャストスラブを鉛直上方向から架設した後にスライドさせることを想定したためである。

試験後の状況を写真-4に、荷重変位関係を図-12にそれぞれ示す。試験体5はコーン状破壊となった一方、試験体7～9についてはアンカー筋周囲のコンクリート表面が破壊したものの鉄筋破断に至った。これらにより、アンカー孔φ40と比較して、アンカー孔形状を変更・拡大したものはアンカー筋定着部の耐力を向上させることがわかった。

4.3 アンカー筋定着部の耐力計算および破壊性状の想定について

(1) あと施工アンカーにおけるコーン状破壊設計荷重

アンカー接合の構造は、アンカー筋を無収縮グラウトで部材に固着する点で、あと施工アンカーの構造に類似している。ここで、あと施工アンカー設計マニュアル²⁾にて示されている無機系アンカーのコーン状破壊設計荷重（式(1)）

$$P = 0.44 \cdot \pi \cdot \phi \cdot (D + 5.5\phi) \sigma_c^{\frac{1}{3}} + 0.32 \cdot \pi \cdot D \cdot (l_{ad} - 4\phi) \sigma_c^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

ここに、 ϕ ：アンカー筋径（mm）、 D ：削孔径（mm）、 σ_c ：コンクリート強度（N/mm²）、 l_{ad} ：定着長（mm）

と、今回実施した試験結果との比較を表-3に示す。なお、式(1)は無筋コンクリートに配置したアンカー筋の引抜きを想定しているため、スラブ配筋およびスパイラル筋の配置の無い試験体3,10,13の試験結果を比較している。いずれの試験体もあと施工アンカーにおけるコーン状破壊の設計荷重よりも最大荷重は小さく、その比率は平均して2/3倍程度であった。

(2) アンカー接合におけるコーン状破壊荷重

表-3の比較結果から、アンカー接合におけるコーン状破壊荷重は式(1)に補正率2/3を乗じて式(2)のとおり算出することとした。ここで、式(1)のコーン状破壊の設計式は、過去に実施されたあと施工アンカーの引抜き試験結果を基に95%信頼限界式として求めたものに、更に安全率として3を見込んだものである。接合構造で用いているアンカー

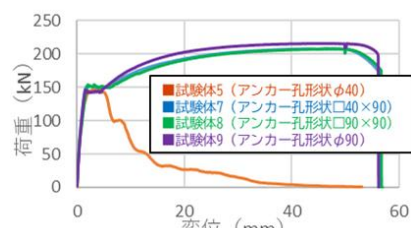
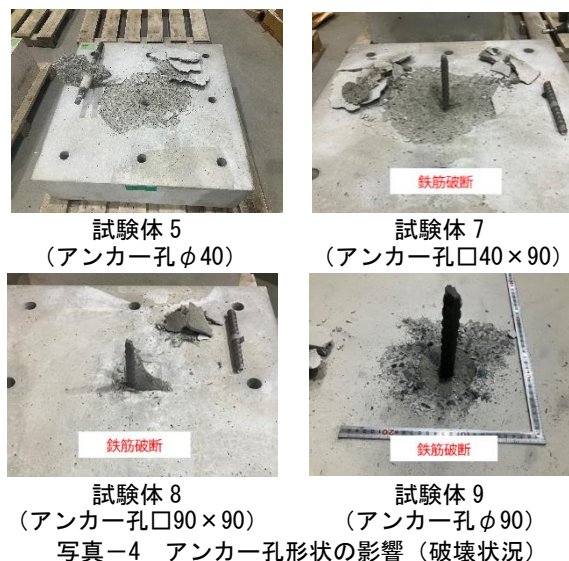
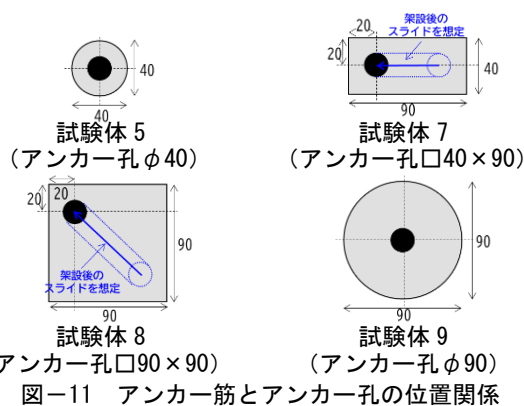


図-12 アンカー孔形状の影響（荷重変位関係）

表-3 あと施工アンカーにおけるコーン状破壊設計荷重と試験結果との比較

試験体	あと施工アンカー コーン状破壊 設計荷重※（kN）	試験結果	
		最大荷重 （kN）	比率
3	196.8	132.9	0.68
10	215.9	195.9	0.91
13	294.4	158.3	0.54

※式(1)で算出された計算値

筋の定着構造は、通常のあと施工アンカーと比較して、無収縮モルタルの充填範囲がアンカー筋の深さ方向に異なること、アンカー孔表面の状態が異なることから、式(1)に見込まれている安全率を改めて設定し直した形となっている。

$$P = \left\{ 0.44 \cdot \pi \cdot \phi \cdot (D + 5.5\phi) \sigma_c^{\frac{1}{3}} + 0.32 \cdot \pi \cdot D \cdot (l_{ad} - 4\phi) \sigma_c^{\frac{2}{3}} \right\} \cdot \frac{2}{3} \text{補正率} \quad (2)$$

算出したコーン状破壊荷重とアンカー筋の破断荷重を比較して破壊性状の想定を行った。例えば、式(2)で計算されたコーン状破壊荷重よりもアンカー筋の破断荷重が大きい場合は、「コーン状破壊」と想定される。表-4にアンカー接合におけるコーン状破壊荷重(式(2)で算出された計算値)と想定される破壊性状および試験結果との比較を示す。試験体 1,2,9 については、コーン状破壊荷重よりもアンカー筋の破断荷重が小さいため「鉄筋破断」と想定され、試験結果と一致した。スラブ配筋を行うことによりアンカー筋定着部の耐力向上が確認された試験体 5~8,11,12 においては、コーン状破壊の計算値よりもアンカー筋定着部の耐力が増加しており、「コーン状破壊」と想定された試験体も一部を除いて「鉄筋破断」となった。また、アンカー孔形状の変更・拡大による耐力向上については、式(1)あるいは(2)内に D (削孔径)が見込まれており、計算値からも耐力の向上を確認することができる。これは図-7で示したように、グラウト材とコンクリート間での付着力がアンカー筋の引抜き耐力に寄与しており、その表面積に削孔径 D が影響しているためである。なお、アンカー孔を矩形とした試験体 7,8,11,12 については、アンカー筋中心からコンクリート母材までの距離が最も小さい 20mm の位置で破壊が発生するものと想定し、 $D = 40\text{mm}$ にてコーン状破壊荷重を算出している。

5. 実構造に適用可能なアンカー筋の条件について

アンカー筋定着部の性能確認試験の結果から、アンカー接合に適用可能なアンカー筋の条件について整理した。なお、アンカー筋については接合部における必要鋼材量が一定であると仮定すると、アンカー径が大きいほど数量が少なくなり施工性が向上することから、本検討では、どの程度まで大きなアンカー径で適用可能かに観点を置いた。また、接合構造におけるアンカー筋のピッチは施工上の観点からも 500mm 程度以上を想定しており、隣接するアンカー筋同士の影響範囲が重ならないことを前提としている。

表-2の試験結果によると、鉄筋破断が確認できた最大のアンカー径は試験体 11 および 12 の D25 であり、その際の条件はスラブ配筋を設け、アンカー孔形状が $\square 40 \times 90$ あるいは $\square 90 \times 90$ である。D25 をアンカー筋として適用する場合は、アンカー孔形状の制約を受けることとなる。ただし、アンカー孔形状が $\phi 40$ かつスラブ配筋を設けた場合の試験は実施しておらず、追加検討を行うことで、適用条件の拡大も見込まれる。また、D25 よりも径の大きなアンカー筋についても試験の実施数が少なく、かつスラブ配筋を設けた場合の試験は実施していないため、追加検討を行うことにより、より径の大きなアンカー筋においても適用できる可能性がある。また、アンカー径 D22 であれば、アンカー孔形状が $\phi 40$ であっても、試験体 6 が鉄筋破断に至ったことから適用が可能である(コンクリート

表-4 コーン状破壊荷重計算値と試験結果との比較

試験体	計算値		試験結果	
	コーン状破壊荷重(kN)	想定される破壊性状	最大荷重(kN)	破壊性状
1	177.3	鉄筋破断	38.3	鉄筋破断
2	164.4	鉄筋破断	113.7	鉄筋破断
3	131.2	コーン状破壊	132.9	コーン状破壊
4	129.3	コーン状破壊	127.8	コーン状破壊
5	119.7	コーン状破壊	148.4	コーン状破壊
6	154.0	コーン状破壊	208.8	鉄筋破断
7	119.7	コーン状破壊	208.0	鉄筋破断
8	117.8	コーン状破壊	207.3	鉄筋破断
9	256.6	鉄筋破断	215.5	鉄筋破断
10	143.9	コーン状破壊	195.9	コーン状破壊
11	114.7	コーン状破壊	273.6	鉄筋破断
12	114.7	コーン状破壊	273.4	鉄筋破断
13	196.3	コーン状破壊	158.3	コーン状破壊

※式(2)で算出された計算値

強度が 34.5N/mm^2 以上の場合)。

以上より、アンカー接合に適用可能なアンカー筋の条件を以下のとおり整理した。

アンカー接合に用いるアンカー径は、部材に配筋を設けることを条件に D25 まで適用可能である。ただし、D25 を用いる場合はアンカー孔形状を $\square 40 \times 90$ や $\square 90 \times 90$ とし、 $\phi 40$ から拡大する必要がある。アンカー径が D22 であれば、アンカー孔形状 $\phi 40$ においても適用可能である。ただし、コンクリート強度は 34.5N/mm^2 以上とする。

6. まとめ

本稿では、プレキャスト高架橋における梁とスラブの接合構造について施工性に優れたアンカー接合を提案し、実構造への適用に向け、埋込長を 200mm としたアンカー筋定着部の性能確認試験を実施し、配置可能なアンカー筋の条件を整理した。得られた知見を以下に示す。

- (1) アンカー筋定着部の耐力は、あと施工アンカーにおけるコーン状破壊荷重を基に推定でき、部材に配筋を設けること、あるいはアンカー孔の形状を拡大することで耐力の向上を見込むことができる。
- (2) アンカー接合に用いるアンカー径は、部材にスラブ配筋を設けること、アンカー孔形状を $\phi 40$ から拡大することを条件に D25 まで適用可能である。アンカー孔形状 $\phi 40$ の場合、コンクリート強度 34.5N/mm^2 以上の条件で D22 までの径で適用可能である。

参考文献

- 1) 大矢智之, 渡部太一郎: PC 鋼棒を用いた接合構造を有するプレキャスト部材の耐荷性能に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.2, pp.631-636, 2023.7
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社: あと施工アンカー設計マニュアル, 2004.12