

長大支間を有する波形鋼板ウェブ PC 橋の波形鋼板と コンクリート床版の新しい接合構造について

角谷 務*1・池田 尚治*2

1. はじめに

コスト削減をめざした合理化・省力化の流れを受けて、複合橋梁が脚光を浴びている。その中でも、PC 橋のコンクリートウェブを波形鋼板に置き換え、自重の軽減やプレストレスの導入効率を向上させた経済的な波形鋼板ウェブ PC 橋りの採用事例が増えている。

波形鋼板ウェブ PC 橋のような複合構造では、鋼とコンクリートの異なる材料間の応力伝達や構造体としての一体化のために、それらの界面にはずれ止めを用いる必要がある。とくに、波形鋼板ウェブ PC 構造は、コンクリート床版と波形鋼板が形成する箱断面が一体構造として、曲げ、せん断およびねじり挙動に対して抵抗する構造であるため、波形鋼板とコンクリート床版の界面では、基本的にずれを生じてはならない。したがって、コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合部は、波形鋼板ウェブ PC 箱桁構造のもっとも重要な構成要素の一つといえる^{2), 3)}。

本論文では、コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合構造に着目し、道路橋および鉄道橋に採用された既存の接合構造であるスタッドジベル接合、埋込み接合、シングルパーフォボンドリブ (Single Perfobond Rib) 接合およびアングルジベル接合、さらに、著者が近年開発した新しい接合構造であるツインパーフォボンドリブ (Twin Perfobond Rib) 接合を紹介し、それらのずれせん断挙動に対する力学的特性、橋軸直角方向の曲げ挙動に対する抵抗性、施工性、耐久性、維持補修性能および経済性について論ずるものである。

2. 既存の接合構造の適用性について

(1) スタッドジベル接合

日本で最初に採用された接合構造は、新潟県の新開橋⁴⁾、秋田県の銀山御幸橋⁵⁾ にみるスタッドジベル接合である。本接合構造は、図 - 1 に示すように、波形鋼板にフランジプレートを紹介し頭付きスタッドを溶植した接合構造である。当時、波形鋼板ウェブ PC 橋の接合構造に関しては、まだ開発途上であり、一般的な鋼・コンクリート合成桁で採用実績のあるスタッドジベルが用いられた。

本接合構造の特徴は、以下のとおりである。

1) ずれせん断挙動に対する力学的特性の観点から

死・活荷重に対して、完全合成構造となる波形鋼板ウェブ PC 構造では、桁の変形作用に伴って波形鋼板に伝達さ

れるせん断力をすべてコンクリート床版に伝達されなければならないため、スタッドが非常に密に配置される。このため、波形鋼板とコンクリート床版の界面でのずれせん断挙動に対して、群杭作用による耐力低下が懸念される。この現象については、試験でも確認^{6), 7)} されている。

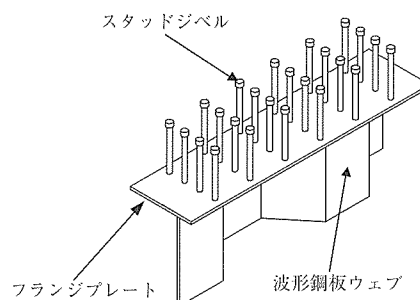


図 - 1 スタッドジベル接合構造

2) 橋軸直角方向の曲げ挙動に対する抵抗性の観点から

日本道路公団での試験結果⁸⁾ から、横方向曲げ挙動に対するスタッドの引張り疲労強度の低下が懸念されるところである。

3) 施工性の観点から

波形鋼板は変形性能が高いが、フランジプレートを溶接することにより波形鋼板の直線性が確保され、型枠の設置も容易で、かつ施工時の安定性にも優れると考えられる。

4) 耐久性の観点から

波形鋼板にフランジプレートが溶接されているため、鋼材とコンクリートの界面から水分が浸透して生じる鉄筋を含む鋼材の腐食劣化の影響は小さいと考えられ、耐久性の面で優れると考えられる。

5) 維持補修性能の観点から

PC 床版の劣化に伴う打替えにおいては、フランジプレートが存在するため、引張り抵抗材として寄与でき、構造上有利であると考えられる。

6) 経済性の観点から

フランジプレートにスタッドを溶植するのみであるが、波形鋼板にフランジプレートの溶接作業が伴うため、経済性の面では後述する埋込み接合構造よりも劣ることはない。

以上のことから、長支間で接合部の水平せん断力も卓越し、また、交通量が多いために横方向の曲げ作用も複雑と

*1 Tsutomu KADOTANI : 日本道路公団 関西支社 建設第二部長

*2 Shoji IKEDA : 横浜国立大学 大学院 名誉教授

なるような長大橋梁には、本接合構造は不利であると考えられる。

(2) 埋込み接合

埋込み接合構造は、日本道路公団の東海北陸自動車道で建設された本谷橋^{9), 10)}に初めて採用された。本接合構造は、第2著者が提案したものである。本接合構造は、図-2に示すように、孔をあけた波形鋼板の橋軸方向直線部の先端部分に接合棒鋼をフレア溶接し、さらにあけられた孔に鉄筋を差し込み直接コンクリート床版に埋め込む構造である。その後、鉄道橋である北陸新幹線の黒部川橋梁においても同様な埋込み接合が採用になっている。ただし、黒部川橋梁においては、前述の接合棒鋼の代わりに波形鋼板の橋軸方向の水平部分に孔あき帯板を沿わせて波形鋼板と孔あき帯板をボルト接合した帯板方式を採用している。本接合構造は、第2著者が委員長を務める設計検討委員会によって提案され種々な実験的確認^{11), 12), 13)}を経て決定されたものである。

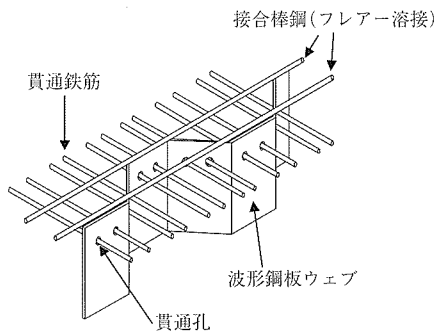


図-2 埋込み接合構造

本構造の特徴は、以下のとおりである。ただし、ここでは、道路橋を対象とした埋込み接合について考察する。

1) ずれせん断挙動に対する力学的特性の観点から

本構造では、接合棒鋼を溶接した波形鋼板を直接コンクリート床版に埋め込み、さらに波形鋼板にあけられた孔に異形鉄筋を貫通配置しているため、折り曲げられた波形鋼板の間のコンクリートが直接ずれせん断に抵抗するとともに、接合棒鋼と貫通鉄筋が拘束効果を与え、せん断抵抗性を助長するため、十分なるせん断抵抗性を有する。

2) 橋軸直角方向の曲げ挙動に対する抵抗性の観点から

日本道路公団の試験結果⁸⁾から、横方向曲げ挙動に対しては、使用状態において十分なる疲労耐久性を有することが確認されている。

3) 施工性の観点から

波形鋼板が直接コンクリート床版に埋め込まれているため、上床版では、コンクリート床版の型枠のセットが面倒で、鉄筋のかぶりの確保にも気を配る必要があるため、フランジプレート¹⁾を有する接合構造の場合より施工性は劣ると考えられる。ただし、下床版については、フランジプレートが無い²⁾ため、施工性はフランジプレートを介する場合よりも良好であると考えられる。また、波形鋼板の架設時の安定性については、フランジプレートが無い²⁾ために、波形鋼板の直線性の確保を含め、若干劣ると考えられる。

4) 耐久性の観点から

本接合構造の場合、波形鋼板が直接コンクリート床版に埋め込まれているため、長期的見地から、鋼とコンクリートの界面の口開きが懸念される。とくに下床版では、直接外部環境にさらされるため、界面からの雨水等の浸入によって鉄筋の腐食が懸念される。したがって、耐久性の面では、フランジプレートを介する接合構造より劣ると考えられる。この対策として、界面の念入りなコーティングや配置鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋を採用するなど、注意や対策が必要と考えられる。

5) 維持補修性能の観点から

PC床版の劣化に伴う打替え時においては、フランジプレートのような橋軸方向の引張り抵抗材がほとんど無いこと、また、打替えに伴う施工の煩雑性も考えられることから、維持補修性能面では、フランジプレートを介した接合構造よりも不利であると考えられる。

6) 経済性の観点から

波形鋼板にフランジプレートを溶接する必要がないため、製作面での経済性に優れている。

以上のことから、埋込み接合は、ずれせん断挙動や横方向の曲げ挙動に対する力学的特性においては十分な機能を有すると考えられるが、波形鋼板が直接コンクリート床版に埋め込まれているため、長支間構造や横方向挙動の複雑な断面構成では、界面の口開き現象に対する不安がある。したがって、耐久性に十分考慮したうえで、中規模支間で、交通量も多くなく、波形鋼板とコンクリート床版の界面に複雑な力が作用しないような橋梁に採用するのが望ましいと考えられる。

(3) シングルパーフォボンドリブ接合

シングルパーフォボンドリブ接合は、図-3に示すように、フランジプレートの中央に1枚の孔あきの形鋼を橋軸方向に溶接し、その孔に鉄筋を貫通させた構造である。本構造の実績として、阪神高速道路公団の中野高架橋¹⁴⁾や長野県の白沢橋¹⁵⁾がある。中野高架橋では、上床版との接合に、また、白沢橋では、下床版との接合に採用されている。とくに、中野高架橋では、水平せん断耐力の向上と橋軸直角方向の床版の曲げ挙動に伴う接合部の首振り作用に抵抗させるため、パーフォボンドリブの両側にスタッドジベルを併用している。

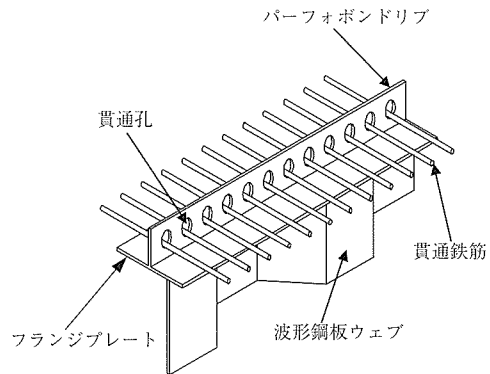


図-3 シングルパーフォボンドリブ接合構造

このパーフォボンドリブ構造の力学的特性については、1987年にレオンハルトらにより研究報告¹⁶⁾されているが、本構造を波形鋼板とコンクリート床版の接合構造に採用するにあたり、前述の研究報告をさらに拡張して研究された成果が設計に反映されている¹⁷⁾。

本構造の特徴は、以下のとおりである。

1) ずれせん断挙動に対する力学的特性の観点から

本構造は、1枚の橋軸方向に連続するリブ（形鋼）にあけられた孔の中のコンクリートがずれせん断作用に抵抗することによって、2面せん断の挙動を呈する。さらに孔の中に配置された貫通鉄筋の拘束効果によって、接合部の橋軸方向水平せん断に対し、高いずれせん断抵抗性を有するばかりか、ずれ剛性も非常に高い接合構造である。これらに関する挙動は、実物大試験^{17), 18)}によって明らかにされているが、後述するツインパーフォボンドリブ接合に比べると、ずれせん断抵抗性が劣る。

2) 橋軸直角方向の曲げ挙動に対する抵抗性の観点から

本構造は、フランジプレートの中央にパーフォボンドリブを橋軸方向に溶接するため、パーフォボンドリブのみでの首振りモーメントに対する抵抗性は低下すると考えられる。そのため、とくに上床版側の接合には、中野高架橋のようにパーフォボンドリブの両側にスタッドジベルを併用するなどの対処¹⁹⁾が必要であると考えられる。

3) 施工性の観点から

波形鋼板にフランジプレートが溶接されているため、スタッドジベル接合と同様、波形鋼板の直線性が確保され、型枠の設置も容易で、かつ施工時の安定性にも優れると考えられる。また、パーフォボンドリブに鉄筋を挿入する作業を伴うが、形鋼にあけられた孔の径が45 mm程度と大きいことから、鉄筋配置も容易と考えられる。

4) 耐久性の観点から

波形鋼板にフランジプレートが溶接されているため、スタッドジベル接合と同様、鋼材とコンクリートの界面から水分が浸透して、鉄筋を含む鋼材の腐食劣化の影響は小さいと考えられ、耐久性の面で優れると考えられる。

5) 維持補修性能の観点から

PC床版の劣化に伴う打替えにおいては、フランジプレートが存在するため、引張り抵抗材として寄与でき、構造上有利であると考えられる。

6) 経済性の観点から

本構造は、スタッドジベル接合と同様、波形鋼板にフランジプレートの溶接が必要であるが、フランジプレート上に1枚の孔のあいた真っ直ぐな形鋼を溶接するのみであるため、後述のアンゲル接合に比べ溶接延長は低減される。さらに、前述の中野高架橋のように接合構造の大きさによってはCT形鋼を使用することも可能であり、より経済性が発揮できることも考えられる。

以上のことから、シングルパーフォボンドリブ接合は、ずれせん断挙動に対する力学的特性においては十分な機能を有すると考えられるが、接合部に作用する水平せん断力が大きくなる長支間橋梁や、床版支間が長く、接合部に複雑な力が作用するような構造には不利であると考えられる。

(4) アンゲルジベル接合

第1著者らは、埋込み接合構造よりさらに耐久性や接合部の一体性の向上を図る目的で、図-4に示すように、フランスで実績のあるアンゲルジベル接合²⁰⁾を、日本道路公団の長大橋に採用することを提案した。このアンゲルジベル接合は、フランスのカンペノン・ベルナル社が開発した接合構造で、日本での採用にあたり、著者らは、波形鋼板ウェブとコンクリート床版の接合部に着目した種々な力学的特性に関する試験を実施し、その安全性の確認を行った^{21), 22), 23)}。

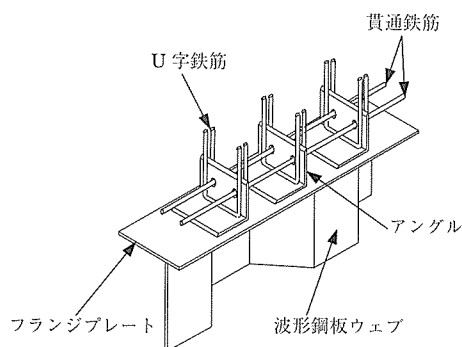


図-4 アンゲルジベル接合構造

本接合構造の特徴は、以下のとおりである。

1) ずれせん断挙動に対する力学的特性の観点から

本構造は、ずれせん断挙動に対して、基本的にはアンゲルが抵抗する構造であるが、ずれによる浮き上がりに抵抗させるため、橋軸方向にアンゲルを貫通して2本の鉄筋を配置し、さらに、アンゲルに沿わせてU字鉄筋を配置することにより、ずれせん断に対し高い抵抗性を確保している。この挙動は、実物大試験²⁴⁾によっても明らかである。

2) 橋軸直角方向の曲げ挙動に対する抵抗性の観点から

本構造においては、上述したように、橋軸方向にアンゲルを貫通して2本の鉄筋が配置されており、さらに、アンゲルに沿わせてU字鉄筋が配置されていることから、コンクリート床版との一体性を向上させるとともに、橋軸直角方向の曲げ挙動に対しても、高い抵抗性を発揮している。この挙動についても、実物大試験²⁵⁾より明らかにされている。

3) 施工性の観点から

波形鋼板にフランジプレートが溶接されているため、スタッドジベル接合と同様に波形鋼板の直線性が確保されるばかりか、型枠の設置も容易で、かつ施工時の安定性にも優れると考えられる。しかしながら、アンゲルジベルへの鉄筋挿入やU字鉄筋の配置に労を要することが考えられる。

4) 耐久性の観点から

スタッドジベル接合と同様に、波形鋼板にフランジプレートが溶接されているため、鋼材とコンクリートの界面から水分が浸透して、鉄筋を含む鋼材の腐食劣化の影響は小さいと考えられ、耐久性の面で優れると考えられる。

5) 維持補修性能の観点から

PC床版の劣化に伴う打替えにおいては、フランジプレートが存在するため、引張り抵抗材として寄与でき、構造上有利であると考えられる。

6) 経済性の観点から

本接合構造の特徴は、フランジプレートに形鋼としてのアングルを周面すみ肉溶接し、さらに、コンクリート床版との一体性を確保するため、アングルの橋軸方向に鉄筋を貫通させるとともに、U字鉄筋を配置していることである。しかしながら、フランジプレートにアングルジベルを周面すみ肉溶接するため、溶接に手間がかかること、溶接延長が長くなること、また、溶接ひずみによるフランジプレートの変形が大きく、波形鋼板との溶接に労を要することなどから、経済性の面では優れているとはいえない。

以上のことから、経済性を除いた接合構造としての橋軸方向および橋軸直角方向の力学的特性、施工性、耐久性および維持補修性能の観点からは、非常に優れた接合構造であると考えられる。とくに、ウェブに波形鋼板を用いた長大橋としてのエクストラドーズドPC橋やPC斜張橋のようなフレキシブルな構造では、波形鋼板とコンクリート床版の接合部に複雑な力が作用するため、本接合構造が有利であると考えられる。現在、これらの橋梁形式に本構造の採用が検討されている。

さらに第1著者らは、本接合構造の経済性を克服すべく、本接合構造と同等な力学的特性を有し、かつ経済性を発揮できる接合構造として、ツインパーフォボンドリブ接合という新しい接合構造を開発した。

3. 新しい接合構造の適用性について

(1) ツインパーフォボンドリブ接合構造の特徴

ツインパーフォボンドリブ接合構造²⁵⁾は、図-5に示す接合構造である。

ずれせん断挙動に対するメカニズムは、基本的にはアングルジベルと同様で、フランジプレートに溶接した2枚のパーフォボンドリブ（孔あき鋼板）とそれに橋軸直角方向に貫通させた鉄筋でずれせん断に対して抵抗させるものである。パーフォボンドリブを2枚設けることにより、前述したシングルパーフォボンドリブ接合構造よりも橋軸方向のずれせん断挙動に対し高い抵抗性を発揮するとともに、橋軸直角方向の床版の曲げ挙動（首振りモーメント）に対

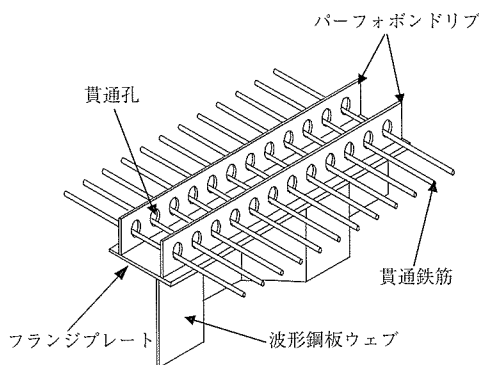


図-5 ツインパーフォボンドリブ接合構造

しても有効に抵抗できるものである。また、フランジ上に橋軸方向に2枚のパーフォボンドリブがすみ肉溶接されるため、フランジの橋軸方向の曲げ剛性が著しく向上し、アングルジベル接合のように溶接ひずみに伴うフランジの変形がほとんど生じない。そのため、フランジプレートと波形鋼板との溶接も容易に行うことができる。

リブ材は通常の形鋼（平鋼板）で、加工が孔あけのみであるため、製作工数が低減され、また、溶接作業は直線のみとなるため、アングルジベル接合と比較して製作コストの面で経済性が発揮できる。

耐久性あるいは維持補修性能については、フランジプレートを介するため、アングルジベル接合と同等な性能を有すると考えてよい。一方、施工性においては、アングルジベル接合の場合、アングルへの鉄筋挿入やU字鉄筋の配置作業を伴うのに対し、パーフォボンドリブ接合の場合は、リブに穴あけられた孔の径が大きいため、橋軸直角方向の鉄筋挿入作業は容易と考えられる。したがって、施工性については、アングルジベル接合よりパーフォボンドリブ接合の方が有利と考えられる。本構造の実績として、群馬県の谷川橋²⁶⁾があり、上床版との接合に採用されている。

(2) 接合構造の力学的特性の比較

ここでは、ツインパーフォボンドリブ接合とアングルジベル接合のずれせん断抵抗性に対する比較を行う。

ずれせん断抵抗性として、写真-1に示すように、押抜き試験による荷重と鋼板およびコンクリートの相対ずれの関係として整理されているので、その試験結果からずれせん断抵抗性を評価する。

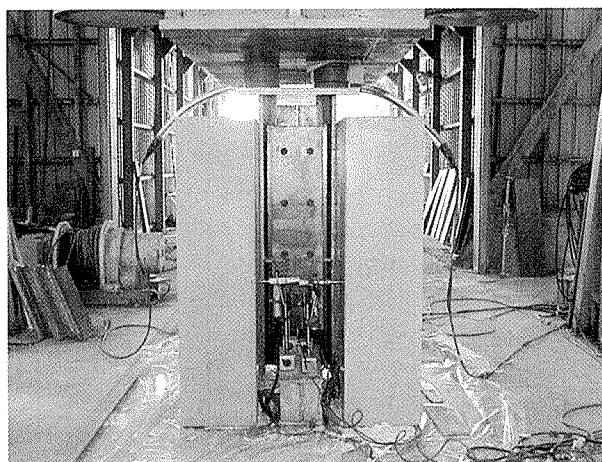
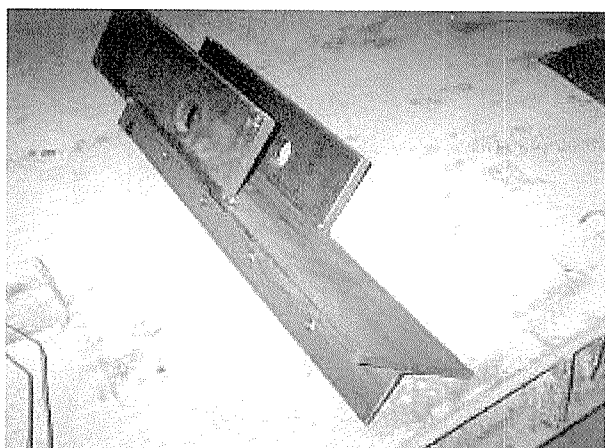
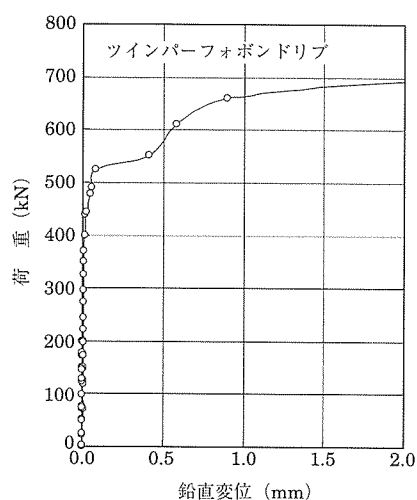


写真-1 押抜き試験状況²⁵⁾

1) ツインパーフォボンドリブ接合

ツインパーフォボンドリブ接合では、リブの板厚が12mmで2枚配置し、孔径φ60mmが1個、D16mmの貫通鉄筋を1本配置した場合の押抜き試験結果を示す。ツインパーフォボンドリブの構造は、写真-2に示すとおりであり、試験結果²⁵⁾を図-6に示す。

試験結果から、ツインパーフォボンドリブ接合の場合、ずれ現象が殆ど観察されず、破壊形態もパーフォボンドリブの孔の中のコンクリートがジベル機能を呈するため、ア

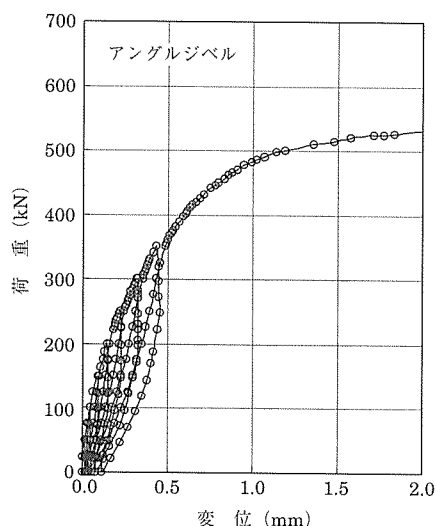
写真-2 ツインパーフォボンドリブの構造²⁵⁾図-6 ツインパーフォボンドリブ接合の試験結果²⁵⁾

ングルジベルのようにアングル背面のコンクリートの圧壊現象のような挙動がほとんど観察されず、孔の中のコンクリートと外側のコンクリートのずれせん断破壊を呈する形態となる。また、孔の中に配置された貫通鉄筋も、ずれせん断に対する拘束効果によって、せん断耐力の向上に寄与していることが確認できる。破壊荷重は、シングルパーフォボンドリブの場合の2倍確保²⁵⁾ できることが確認されている。

2) アングルジベル接合

アングルジベル接合では、写真-3に示すように、150×100×10のアングルを1個配置し、ずれせん断挙動における浮き上がりを抑制するため、貫通鉄筋D 16 mmを2本用いて押抜きせん断試験を行った結果²⁴⁾ を図-7に示す。

試験結果から、アングルジベルの場合、水平せん断の作用方向に対してアングルが直交しているため、水平せん断力の作用に伴ってアングルが橋軸方向に変形する挙動を呈する。そのため、アングル背面のコンクリートが局部的に圧壊し、荷重の増加に伴って、ずれ量が増加する挙動を呈すると考えられる。しかしながら、橋軸方向に配置された貫通鉄筋が、水平せん断に伴うコンクリートの浮き上がり防止効果として寄与しているため、せん断耐力の向上に寄

写真-3 アングルジベルの構造²⁴⁾図-7 アングルジベル接合の試験結果²⁴⁾

与していることが試験結果²⁴⁾ から明らかにされている。

これらの試験結果から、ずれせん断耐力について、ツインパーフォボンドリブ接合とアングルジベル接合では、同等の力学的特性を確保できると判断できる。しかしながら、ずれせん断に伴うずれ量に着目すると、波形鋼板ウェブPC構造の特徴として、波形鋼板とコンクリート床版の界面が基本的にずれを許容しないことを考慮すると、ツインパーフォボンドリブ接合構造のほうが有利であると考えられる。

また、橋軸直角方向の曲げ挙動に対する抵抗性についても試験を実施し、同等な性能を有することを確認している。この結果については、今後論文発表の予定である。

4. ツインパーフォボンドリブ接合構造の設計

前述で紹介した接合構造に関し、スタッドジベル接合、埋込み接合およびアングルジベル接合の設計方法については、すでに各基準やマニュアル等で提案されている。

ツインパーフォボンドリブ接合構造の設計については、以下の各項目の設計が必要である。

- (1) 貫通鉄筋を含む孔の大きさを考慮したせん断耐力
- (2) リブの最小板厚
- (3) 溶接サイズ

ここでは、ツインパーフォボンドリブ接合構造の上記設計方法について述べる。

(1) せん断耐力評価式

波形鋼板とコンクリート床版のずれせん断に伴うパーフォボンドリブ接合のせん断耐力の評価については、実物大の試験体を用いて種々のパラメータを考慮した押抜き試験結果から、上平らが耐力評価式¹⁵⁾を以下のように提案している。

試験結果によると、孔の大きさ、つまり粗骨材のジベル孔への混入率によっても耐力が変わり、孔の径が大きくなるほど耐力が低下することが解っている。また、貫通鉄筋を配置することにより、せん断耐力の大きな向上に繋がることも解っており、以下の評価式は、それらの影響を考慮したものである。

1) 孔の中のコンクリートジベルとしての耐力

$$Q_c = 1.1 \cdot \phi^2 \left\{ -0.818 \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_{40}} \right) + 2.691 \right\} \cdot \sigma_c \quad (1)$$

ここに、 Q_c : コンクリートジベルの耐力
 ϕ : 孔径 (mm)
 ϕ_{40} : 孔径 40 mm (= 40 mm)
 σ_c : コンクリートの圧縮強度

2) 貫通鉄筋の拘束効果

$$\Delta Q = 1.1 \cdot \phi^2 (12.966p - 0.312) \cdot \sigma_c \quad (2)$$

ここに、 ΔQ : 貫通鉄筋の拘束効果
 p : 貫通鉄筋比 (= $A_s / 2 A_c$)
 A_s : 貫通鉄筋の断面積
 A_c : コンクリートジベル孔の断面積

3) せん断耐力

$$Q = Q_c + \Delta Q \quad (3)$$

ここに、 Q : パーフォボンドリブの合計耐力

ただし、上記評価式は、波形鋼板とコンクリート床版の接合部に特化したもので、リブが1枚(シングルパーフォボンドリブ)の場合の耐力式である。ツインパーフォボンドリブの場合は、通常計画されるフランジ幅にリブを2枚設ける。この場合、以下に述べるリブ中心間隔 b_s がリブ高 h の2倍程度であれば、基本的には耐力を1枚の場合の2倍としてよいことが試験により確認されている。この試験結果については論文発表される予定である。

また、供用限界状態での水平せん断耐力は、上記(3)式の1/3の値としている。これは、押抜きせん断試験結果(図-6参照)から、パーフォボンドリブにずれが生じ始める荷重が、破壊荷重の1/3以下であること、また、本接合構造は完全合成を基本としていることより、安全性を考慮して、供用限界状態ではずれを発生させないように破壊荷重の1/3とした。

(2) リブの最小板厚²⁾

リブの最小板厚は、図-8に示すように、基本的には、ずれせん断(水平せん断)によって、孔と孔の間、つまりコンクリートジベル間の鋼板がせん断降伏するか、橋軸直角方向の曲げ挙動によるコンクリートジベル上の鋼板のせ

ん断(鉛直せん断)によるせん断降伏により決定できる。

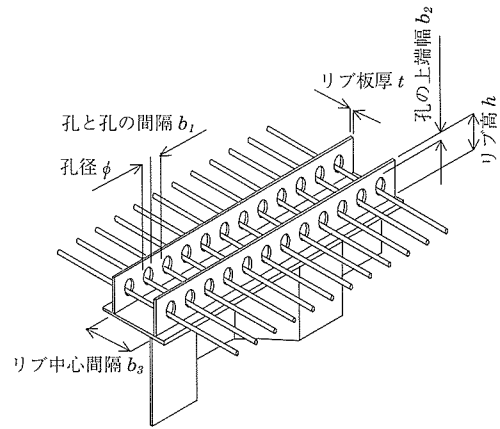


図-8 孔の大きさとリブの形状の関係

1) 水平せん断に対して

$$Q_H = A_{s1} \cdot \frac{\phi_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5}{3} \quad (4)$$

ここに、 Q_H : 鋼板の設計水平せん断耐力
 A_{s1} : 2つの孔の間の鋼板部分の面積 (= $b_1 \cdot t$)
 σ_y : 鋼板の降伏点応力度

2) 鉛直せん断に対して

$$Q_T = A_{s2} \cdot \frac{\phi_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5}{3} \geq \frac{M}{b_s} \quad (5)$$

ここに、 Q_T : 鋼板の設計鉛直せん断耐力
 A_{s2} : 孔の上端の鋼板部分の面積 (= $b_2 \cdot t$)
 σ_y : 鋼板の降伏点応力度
 M : 首振りモーメント
 b_s : パーフォボンドリブ間隔

(3) 溶接サイズ

ツインパーフォボンドリブ接合構造の場合には、経済性を考慮して、図-9に示すように、リブに開先を設けず、左右の付け根にすみ肉溶接する構造としている。溶接部の設計では、以下に示す水平せん断力と横方向曲げモーメント(首振り)による合成応力度の照査で十分である。これは、後述する理由による。

1) すみ肉溶接部の合成応力度

$$\left(\frac{\tau_H}{\tau_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau_T}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.0 \quad (6)$$

ここに、 τ_H : 水平せん断力によるせん断応力度
 τ_T : 首振りモーメントによるせん断応力度
 τ_a : 許容せん断応力度

2) 水平せん断力によるせん断応力度

$$\tau_H = \frac{S_H}{\sum a \cdot \ell} \quad (7)$$

ここに、 S_H : 設計時水平せん断力
 a : 溶接の有効厚
 ℓ : 溶接の有効長

3) 首振りモーメントによるせん断応力度

$$\tau_T = \frac{M}{I} y \quad (8)$$

ここに、 τ_T : 首振りモーメントによるせん断応力度
 M : 設計時首振りモーメント
 I : のど厚を接合面に展開した断面のその
 中立軸のまわりの断面 2 次モーメント
 y : 展開図形の中立軸から応力度を算出する
 位置までの距離

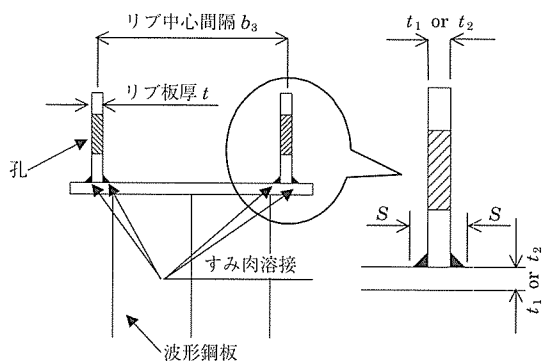


図-9 フランジとパーフォボンドリブの溶接構造

本論文で述べたツインパーフォボンドリブの押抜きせん断試験においては、すべてこの溶接手法を採用しているが、試験結果では、すべて孔の中のコンクリートジベルがせん断破壊を起こしており、溶接部での先行破壊には至っていない。また、首振りモーメントに対する首振り疲労試験においても、供用限界状態の荷重作用下で、すみ肉溶接部は健全であることが確認されている。

実橋におけるすみ肉溶接サイズの設計では、上式では決定されておらず、以下に示す式の最小サイズで決定されている。これは、水平せん断力によって発生する高いせん断応力度を 4 箇所すみ肉溶接部が担うためである。

$$t_1 > S \geq \sqrt{2}t_2 \quad (9)$$

ただし、すみ肉溶接サイズは 6 mm 以上とする。

ここに、 S : 溶接サイズ
 t_1 : 薄い方の母材の厚さ
 t_2 : 厚い方の母材の厚さ

5. 結論

本論文では、波形鋼板とコンクリート床版の接合構造について、既存の接合構造から新しい接合構造まで、その適用性について論じた。

結果として、今後のフレキシブルな長大支間の波形鋼板ウェブ PC 橋の接合構造では、複雑な力の伝達挙動に対し、十分な耐久性を保持しなければならないことを考慮すれば、新しく開発したツインパーフォボンドリブ接合構造は、ずれせん断挙動に対する力学的特性、橋軸直角方向の曲げ挙動に対する抵抗性、施工性、耐久性および維持補修性能の観点から、アングルジベル接合構造と同等な性能を有すると評価して良い。さらに、経済性の観点からは、ツイン

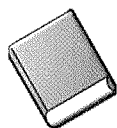
パーフォボンドリブ接合構造の方がアングルジベル接合構造よりも優位性を発揮できると評価してよい。

参考文献

- 1) 池田尚治：土木分野における複合構造，プレストレストコンクリート，pp. 16～19, Vol. 37, No. 2, 1996年3月
- 2) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会：波形鋼板ウェブ PC 橋—計画マニュアル（案），1998年10月
- 3) Uehira, K., Tategami, H., Ebina, T., Sonoda, K.: Mechanische Eigenschaften Von vorgespannten Betonkastenträgern mit gewellten Stahlstegen und Anwendungsbeispiele solcher Brücken in Japan, 4. Japanisch-Deutsches Kolloquium, pp. 189～194, 2001年4月
- 4) 近藤昌泰, 清水洋一, 大浦 隆, 服部政昭：波形鋼板ウェブを有する PC 橋—新開橋—, プレストレストコンクリート, Vol. 37, No. 2, pp. 69～78, 1995年3月
- 5) 石黒互, 村田嘉広, 須合孝雄：松の木7号橋（銀山御幸橋）の設計と施工, プレストレストコンクリート, pp. 5～14, Vol. 38, No. 5, Sept. 1996年
- 6) 保坂鐵矢, 平城弘一, 小林芳樹, 橋吉宏, 渡辺澁：鉄道用連続合成桁に用いるずれ止め構造のせん断特性に関する実験的研究, 土木学会, 構造工学論文集, pp. 1497～1504, Vol. 44A, 1998年3月
- 7) 上平謙二, 鈴木史郎, 松野茂彦, 園田恵一郎：波形鋼板ウェブ PC 橋の鋼板とコンクリート床版の合成手法に関する研究, 第 52 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, pp. 118～119, 1997年9月
- 8) Shito, K., Kamihigashi, Y., Suzuki, N., Tsujimura, T., Sakurada, M. and Machida, F.: Study On Transverse Behavior Of Connection Between Concrete Slab And Corrugated Steel Web, The first fib Congress 2002, Concrete Structures in the 21st Century, Session 5, pp. 233～242, 2002年10月
- 9) 加藤照己, 芦塚憲一郎, 加藤卓也, 日高重徳：本谷橋（波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋）の設計について, 第 7 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp. 747～752, 1997年10月
- 10) 山口恒太, 山口隆裕, 池田尚治：波形鋼板ウェブ構造のせん断挙動について, 土木学会, 第 3 回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp. 77～82, 1995年11月
- 11) 杉本一郎, 村田清満, 平岡慎雄, 豊原正俊, 溝江慶久, 町田文孝：面外曲げを受ける波形鋼板ウェブ PC 鉄道箱桁橋の接合部の耐疲労性状に関する実験的研究, 土木学会, 構造工学論文集, pp. 1339～1349, Vol. 48A, 2002年3月
- 12) 西田寿生, 村田清満, 平岡慎雄, 金森真, 豊原正俊：波形鋼板ウェブ鉄道箱桁橋の疲労に関する実験的検討（橋軸方向の検討）, 土木学会, 第 57 回年次学術講演会講演概要集, pp. 1253～1254, I-627, 2002年9月
- 13) 杉本一郎, 村田清満, 平岡慎雄, 金森真, 豊原正俊, 溝江慶久：波形鋼板ウェブ鉄道箱桁橋の疲労に関する実験的検討（橋軸直角方向の検討）, 土木学会, 第 57 回年次学術講演会講演概要集, pp. 675～676, I-338, 2002年9月
- 14) 山中圭介, 山本昌孝, 鈴木真, 小林和夫：波形鋼板ウェブ PC 橋（中野高架橋その 1 工事）の設計概要, 第 10 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 pp. 1～5, 2000. 10.
- 15) 手塚雄保, 小林雄二郎, 山田和男, 藤田貴敏：白沢橋（曲線を有する波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋）の設計・施工, 第 11 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp. 185～190, 2001年11月
- 16) Fritz Leonhardt, Wolfhart Andra, Hans-Peter Andra und Wolfgang Harre : Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, BETON-UND STAHLBETONBAU, pp. 325～331, 1987年

- 17) 新谷英司, 蛭名貴之, 上平謙二, 柳下文夫: 波形鋼板とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究, 第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 pp. 91 ~ 96, 1999年10月
- 18) 保坂鐵矢, 光木香, 平城弘一, 牛島祥貴, 橋吉宏, 渡辺滉: 孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的研究, 土木学会, 構造工学論文集, pp. 1593 ~ 1604, Vol. 46A, 2000年3月
- 19) 中山圭介, 井口斉, 小林寛, 水田崇志, 小林和夫: 中野高架橋実物大試験体の横方向の静的載荷実験, 土木学会, 第55回年次学術講演会講演概要集, I - A281, 2002年9月
- 20) 角谷務: 今後のPC橋の将来展望 = 波形鋼板ウェブPC箱桁橋への展開 =, 第10回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, 特別講演 pp.(7) ~ (15), 2000年10月
- 21) 財団法人 高速道路技術センター, 平成11年度 波形鋼板ウェブを有する鋼コンクリート複合構造橋梁の長支間化に伴う技術検討報告書 (日本道路公団九州支社委託), 2000年3月
- 22) 財団法人 高速道路技術センター, 平成13年度 第二東名高速道路波形鋼板ウェブの適用性に関する検討 報告書 (日本道路公団 中部支社委託), 2002年3月
- 23) 財団法人 高速道路技術センター, 平成13年度 第二東名高速道路波形鋼板ウェブPC箱桁橋の設計・施工に関する技術検討 報告書 (日本道路公団 関西支社), 2002年3月
- 24) 立神久雄, 田村聖, 蛭名貴之, 上平謙二: 波形鋼板ウェブ橋に用いるずれ止め構造のせん断特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 日本コンクリート工学協会, Vol. 23, No 3, pp. 691 ~ 696, 2001年6月
- 25) 立神久雄, 蛭名貴之, 上平謙二, 柳下文夫: アンゲルジベルのせん断耐力に関する基礎的研究, 第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp. 79 ~ 84, 1998年10月
- 26) 湯浅一光, 小林博, 蛭名貴之, 高橋宏明: 谷川橋の設計・施工および実橋載荷実験, 橋梁と基礎, 投稿中

【2002年12月18日受付】



刊行物案内

PC 橋架設工法 2002年版

頒布価格: 会員特価 4 000 円 (送料 400 円)

: 非会員価格 4 800 円 (送料 400 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会