

災害用段差乗り越え装置（ダンパステッキ）の開発

Development of a leveling ramp for disaster (DAMPAS deck)



久保 圭吾*¹
Keigo KUBO



永見 研二*²
Kenji NAGAMI



興地 正浩*³
Masahiro OKIJI

要 旨

橋梁では、地震などによる支承の損傷で、伸縮継手部に段差が生じる場合があり、連続高架橋では、滞留した車両を排出するなどの道路啓開とともに、緊急輸送路として応急復旧時までの通行を確保することが求められる。このため、高強度で軽量なFRP材を用い、継手部が開いている場合でも簡易に設置できる上、道路啓開のみならず、応急復旧時まで長期間機能を維持することが可能な伸縮継手段差乗り越え装置を開発した。ここでは、段差乗り越え装置の基本構造を示すとともに、耐荷力の確認のために実施した、静的載荷試験結果について報告する。

キーワード：FRP，段差解消，地震災害，道路啓開

1. はじめに

橋梁における地震災害において、支承の損傷などにより橋梁の伸縮継手部に段差が生じる場合がある。この場合、都市高速のような連続高架橋では、滞留した車両を排出するなどの道路啓開とともに、緊急輸送路として応急復旧時まで通行を確保することが求められる。この伸縮継手部の段差に対しては、土嚢を用いる場合が多いが、土嚢が重く、段差部への運搬・施工が困難である上、継手部が開いている箇所には適用できないなどの課題がある。また、土嚢を長期間使用した場合、車輛の通過に伴い破損することが多く、段差を乗り越えることができる状態を維持するには多大な労力を必要とする。このような状況のもと、高強度で軽量なFRP材を用い、継手部に隙間がある場合でも簡易に設置できる上、車輛走行に対しても損傷がなく、道路啓開のみならず、応急復旧時まで長期間機能を維持することが可能な伸縮継手段差乗り越え装置を開発した。ここでは、段差乗り越え装置の基本構造を示すとともに、耐荷性能を確認するために実施した、実車走行試験、静的載荷試験結果について報告する。なお、開発に際しては、適用車種が4t車程度であるが、1部材20kg以下となる軽量タイプ¹⁾と、大型車まで対象とするタイプ²⁾の2種としている。

2. 構造概要

(1) 軽量タイプの基本要件と要求性能

開発にあたり、重量、寸法などの基本要件を整理し、段差量や設計荷重などの要求性能の設定を行った。

1) 重量

設置時の最低作業員数は2名を想定しており、人力による施工性の観点から、1部材の最大重量は約20kgとする。

2) 最大寸法

部材寸法による重量増加や、トラック等に積載し現地まで運搬することを考慮し、一部材の長さは最大2,000mmとする。

3) 段差量

伸縮継手部に生じる段差は、支承の破壊により生じる場合が多い。近年、支承は耐震補強対策などにより、鋼製支承からゴム支承へと取り替えが進んでおり、大きな段差は生じにくくなっていることから、200～300mmの段差を想定する。

4) 設計荷重

道路啓開において路面に段差が生じている状態で使用することが主目的であり、大型車を移動させることは困難となることから、4t車を想定する。

*¹ 技術本部 技術開発部 関西技術開発グループ 担当リーダー

*² 営業本部 開発営業部 開発営業グループリーダー

*³ 関西支社 関西橋梁営業部 橋梁・開発営業第2グループリーダー

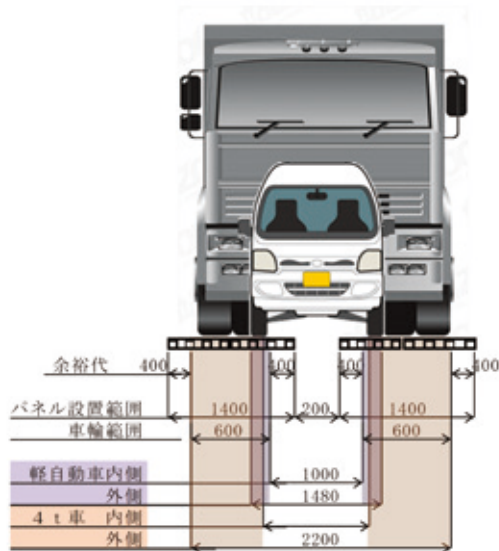


図-1 設置範囲



図-2 渡し板の断面形状

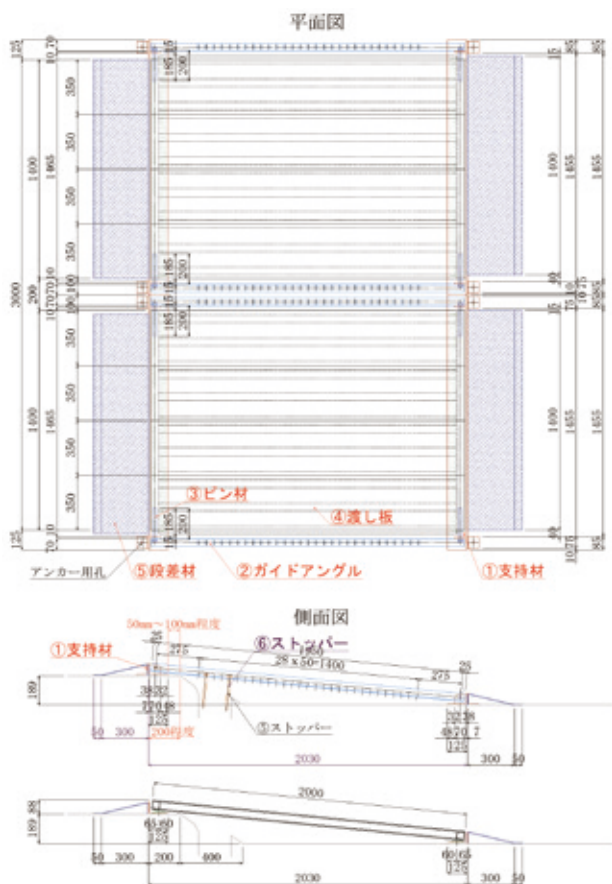


図-3 基本構造

(2) 基本構造

段差乗り越え装置は、車幅の異なる軽自動車から4t車まで走行できる幅を確保する。このとき、走行位置のバラッキや、大型車の外側および軽自動車の内側に余裕を考慮し、図-1に示すように、1輪あたり1400mm幅の渡し板とした。

渡し板は、車輛荷重を支持できる剛性を確保し、軽量化を図るため、FRP製の角パイプの上下をFRP板で挟む形状とした。なお、1部材20kg程度とすることが要件となることから、FRP渡し板を幅方向に4分割するが、分割したFRP渡し板の一体化を図るため、図-2に示す差し込み構造を採用した。

段差乗り越え装置は、渡し板を鋼製フレームで囲むことで、車両走行による変形を防止し、長期間の使用性を確保している。なお、装置全体の移動に対しては、ガイドアングルに設けた孔に挿入したストッパーで、全体の移動を防止する。段差乗り越え装置の構造を、図-3に示す。

(3) 渡し板の施工性

図-4に、設置状況を示す。段差乗り越え装置の組立ては、1部材が軽量であり、工具が不要であることから、2名で10～15分程度で組立が可能であることが確認できた。



a) 鋼製フレームの組立



b) 渡し板の設置



c) 段差材、ストッパーの設置

図-4 設置状況

3. 軽量タイプの耐荷力

(1) 実車両による耐荷性能

試作した段差乗り越え装置を、防災訓練で実車両走行させた際、FRP板から異音が生じたことから、ユニック車による試験走行を実施した。この時の試験状況を、**図-5**に示す。

試験の結果、ユニック車の前輪（シングルタイヤ）がFRP板の中央に載った時に異音が生じ、継手部に載った時は異音が生じないことが確認された。このため、異音は、**図-6**に示すように、FRP板の変位差により嵌合部のブラインドリベットに引張力が生じたことに起因すると推察できる。また、FRP板の嵌合部のリベットに、**図-7**に示す、FRPに過大な力が作用した際に生じる白華現象がみられることから判断できる。

なお、後軸はダブルタイヤ（車輪幅500mm）である



図-5 载荷試験状況

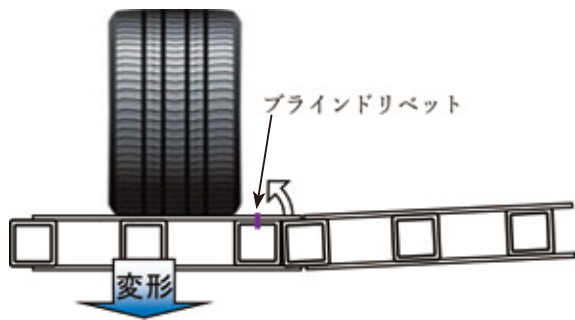


図-6 設置状況

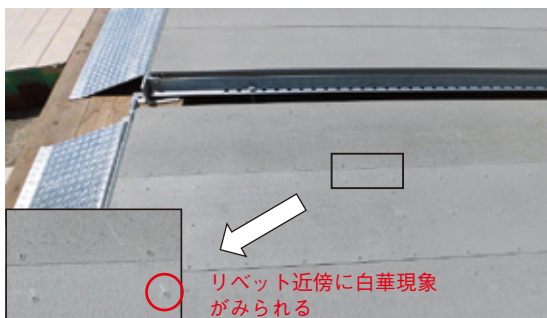


図-7 試験後のFRP板の状況

ことから、走行時はFRP板2枚にそれぞれのタイヤが載る状態となることから、異音は生じていない。

(2) 静的载荷試験

渡し板は凸凹部により接合されているが、完全な一体化には至っていない。そのため、シングルタイヤの輪荷重が渡し板に載った時、隣接する渡し板との変位差により、渡し板のリベットを引き抜こうとする引張力が発生する。この時のリベット一本あたりに作用する引張力は、リベットピッチに運動することから、リベットピッチが150mm及び75mmの二種類の供試体を対象に、静的载荷試験を実施する。

試験は、**図-8**に示すように、タイヤが渡し板の中央に載ることを想定した場合（シングルタイヤ：ケース1、ダブルタイヤ：ケース2）と、シングルタイヤが渡し板継目から偏載した場合（ケース3）、直上の場合（ケース

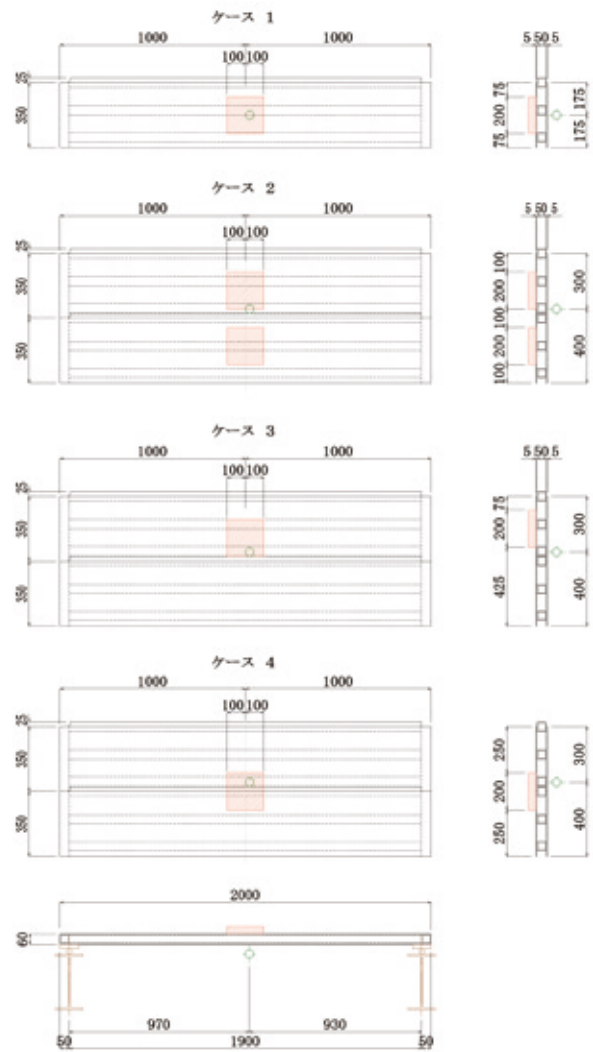


図-8 試験体形状と試験ケースの概要

4) の4ケースとする。なお、リベット間隔150mmの試験体は、防災訓練で使用したものであり、数回の荷重履歴を受けている。一方、リベット間隔75mmの試験体は、

表-1 試験ケースと破壊時の状況

荷重履歴	数回の荷重載荷あり			荷重載荷なし		
	150 mm			75 mm		
リベット間隔	試験体	破壊荷重	破壊形態	試験体	破壊荷重	破壊形態
ケース 1	①	34.75 kN	せん断 リベット	⑥	57.25 kN	曲げ
	②	57.25 kN	せん断 リベット	⑦	54.75 kN	曲げ
ケース 2	③	74.75 kN	せん断 リベット	⑧	100.00 kN	曲げ
ケース 3	④	37.00 kN	継手部 リベット抜け	⑨	51.25 kN	継手部
ケース 4	⑤	52.00 kN	せん断 リベット	⑩	65.00 kN	せん断 角パイプ

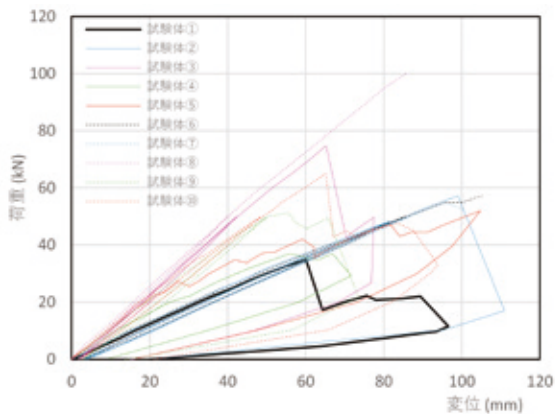


図-9 荷重-変位の関係

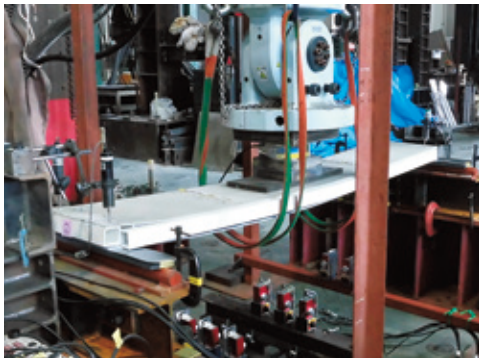


図-10 試験体②の破壊状況

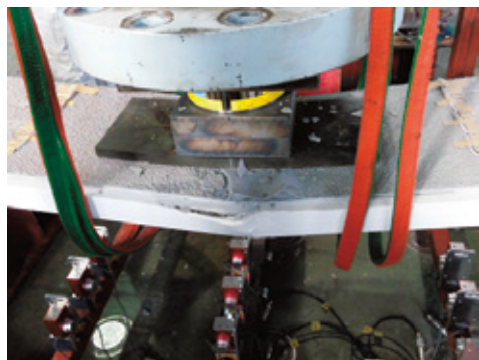


図-11 試験体⑦の破壊状況

新規に製作したため、荷重履歴は受けていない。この時の試験ケースを表-1に示すとともに、各試験体の破壊荷重と破壊形態を示す。これより、リベット間隔を密にすることで、耐荷力の向上が確認できた。

図-9に、試験時の荷重-変位関係を示す。ケース1の4体は、概ね同一線上で線形的に推移しており、個々の剛性の違いは、ほとんどないことがわかる。しかし、①試験体は、約34.7kNで荷重が低下することで破壊に至っており、数回の走行が耐荷力に影響を与えているものと考えられる。ケース3、4の継手部に載荷したケースでは、④、⑤試験体で早い段階で剛性が低下しており、継手部ではリベット間隔や荷重履歴の影響が大きいと考えられる。

図-10に、リベット間隔が広い場合の代表例として試験体②の破壊性状を示す。これより、リベットが少ないことから端部に生じる水平せん断力により、リベット孔が水平方向に潰れて抜けるような破壊形態となることが確認された。

図-11に、リベット間隔を密にした場合の代表例として試験体⑦の破壊性状を示す。これより、リベット部の破壊は見られておらず、リベットを密にすることにより水平せん断力に抵抗できたと考えられる。なお、この場合の破壊形態は、載荷板エッジ部の角型パイプの圧縮破壊にともない、角型パイプの角部がせん断破壊するものであり、上面の板が局部的に変形することで滑り止め用の砂接着が剥離していた。

4. 高段差と大型車への対応

(1) 段差400mmへの対応

支承高の調査から、想定される段差を400mmとしたことで、走行時に車両の底を擦ることが懸念される。しかしながら、段差乗り越え装置の使用は、緊急輸送路を確保することが目的であり、一般車両の走行は考慮していないことから、走行車両として、物資輸送用のトラックおよびパトロールカーを想定して干渉の検討を行った。

輸送用トラックには、中型車、大型車があり、段差を乗り越える際に干渉する恐れが高いのは、最低地上高が低く車軸距離が長い場合となる。このため、段差の検討にあたっては、10t車 6x4 (3軸-後2軸駆動) を用いた。一方、小型車 (緊急車両) については、警察パトロールカー、道路パトロールカーの中で、干渉する可能性が高いと思われる車種を想定して検討を行った。

この結果、大型車、小型車ともに、勾配を10%程度以下とする必要があることが確認できたことから、段差200mmを超える場合は、図-12に示す高さ200mmの高上げ材を用いて、長さ2.0mの乗り越え装置を2連結する構造を採用した。この時の構造を図-13に示す。なお、段差200mm以下では、連結しない場合でも干渉の可能性は小さいことから単独で用いるものとし、200mmを超える場合は、連結構造とすることを標準とした。

(2) 大型車両への対応

軽量タイプにおいて、軸重を10tに調整した試験車による走行試験を実施した。この試験結果、10回走行時に渡り板端部で割れが生じ、11回走行時に支間中央部で破壊した。このときの試験状況を、図-14に示す。これは、車輪が中央2枚のパネル上を走行するため、両外のパネルがほとんど荷重を受け持たないためと考えられる。したがって、大型車対応としては、重量が50kg程度になるが、パネル幅を700mmとして荷重分散を図った。図-15に大型車仕様の断面図を示す。



図-12 嵩上げ材

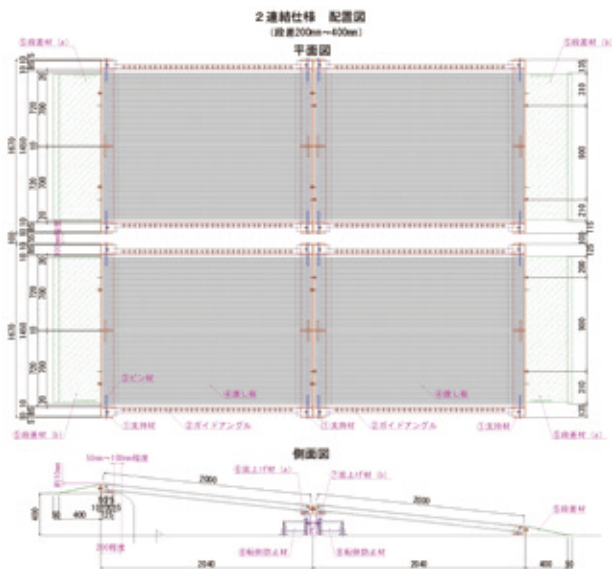


図-13 2連結仕様の構造

(3) 実車両に対する走行試験

模擬的に作成した400mmの段差に、大型車仕様の乗り越え装置を設置し、実車両を繰返し走行させることで、耐久性を確認した。走行させる車両は、後輪後軸を浮かせることで、後輪前軸を法定軸重の10tに調整できる10t軸重車を用いた。走行回数は、上り方向15回、下り方向15回の合計30回とした。



図-14 軽量タイプでの試験状況

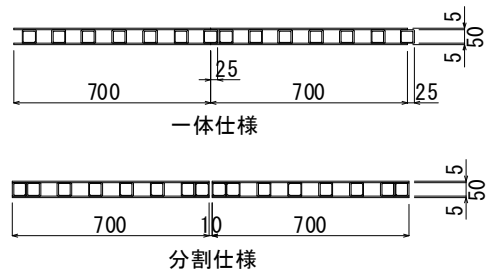


図-15 大型車対応の断面構造



図-16 普通車での試験状況

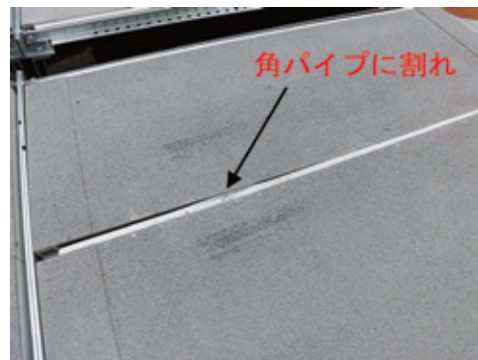


図-17 一体仕様での試験状況

一体仕様における走行試験の結果、普通車（図-16）、大型車ともに走行時に底面が干渉することなく400mmの段差を走行することが確認できた。しかし、10t軸重車を14回走行させたとき、嵌め込み部の1ヵ所で、角パイプの支間中央部に割れが生じた（図-17）。これは、シングルタイヤの前輪が嵌め込み部の片側に載った際、変位差によるせん断力が局部的に生じた影響と考えられる。なお、損傷した乗り越え装置を土嚢で置き換えて試験を継続した結果、30回走行後においても、その他の箇所での損傷は生じなかった。

この走行実験では、走行する車両が大きすぎて走行し、渡し板1枚に輪荷重が載荷された状態を模擬した、渡し板単体での走行試験も行っている。その実験状況を図-18に示す。この結果、一部のリベット部で砂接着が剥離した箇所があったものの、30回の走行後も渡し板に損傷がなかったことから、渡し板単体でも、想定した



図-18 渡し板単体での走行試験状況

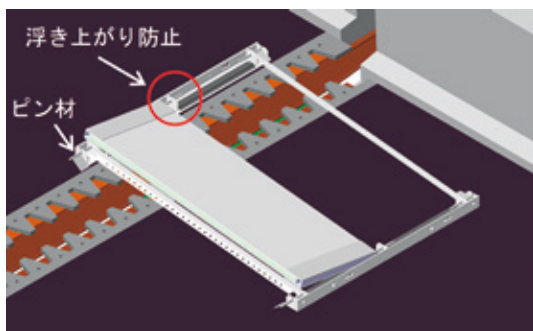


図-19 浮き上がり防止構造



図-20 分割仕様での試験状況

耐久性を有することが確認できた。

したがって、渡し板は、図-15の断面図に示すように嵌め込まずに分割する構造とし、境界部に車輪が載った場合の補強として、端部に角パイプを追加する構造に改良した。なお、渡し板の車両走行時の浮き上がり防止として、ピン材を設置しているが、分割構造とするため、図-19に示すように、中間にもピン構造の浮き上がり防止を追加している。

最終形状での耐久性を確認するため、改良構造による走行試験を実施した。この結果、図-20に示すように、前輪が渡し板の片側に載った場合でも、載荷側の渡し板が変形するものの、隣接する渡し板に影響を与えず、端部の角パイプを密に配置したことで、30回走行後も変状はなく十分な耐久性を有することが確認できた。

(4) 静的載荷試験

大型車対応の渡し板の耐荷性状を調べるため、静的載荷試験を行った。試験は、図-21に示すように、渡し板単体にシングルタイヤが載った場合（ケース1）と、タイヤが2枚の渡し板の中央に載ることを想定した場合（ケー

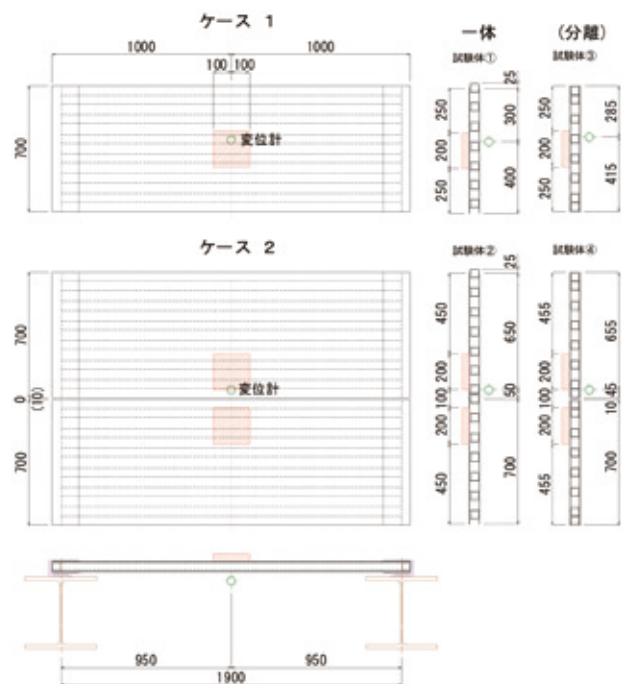


図-21 試験体形状と試験ケースの概要

表-2 試験ケースと破壊時の状況

	一体仕様		分離仕様	
	試験体名	破壊荷重	試験体名	破壊荷重
ケース 1	①	75.00 kN	③	92.16 kN
		角パイプ 圧縮・せん断		内部角パイプ (損傷状態ではない)
ケース 2	②	103.7 kN	④	132.48 kN
		内部角パイプ (損傷状態ではない)		内部角パイプ (損傷状態ではない)
		局部的な圧縮		局部的な圧縮

ス2)の2種類とした。なお、試験は、嵌め込み構造の一体仕様と、渡し板を分離した分離仕様の2種類で行った。このときの試験ケースと破壊時の状況を表-2に示す。

これより、一体構造では、試験体①で、設計荷重62.5kNに対し、約1.2倍の耐荷力を、試験体②では、約1.66倍の耐荷力を有することが確認できた。一方、分離構造の試験体③では、設計荷重62.5kNに対し、約1.5倍の耐荷力を、試験体④では、約2.1倍の耐荷力を有することが確認でき、偏心を無くし、端部に角パイプを追加することで、両ケースともに1.2~1.3倍に耐荷力が向上することが確認できた。

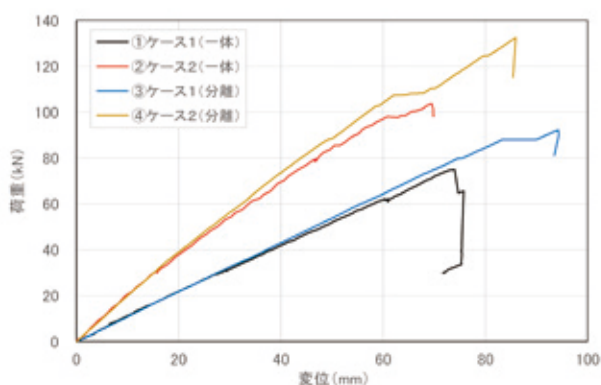


図-22 荷重-たわみ曲線

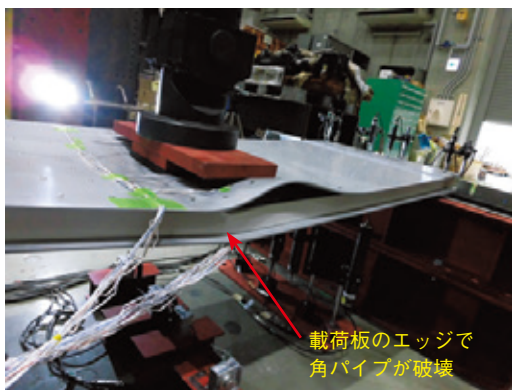


図-23 ①試験体の破壊時の状況



図-24 ③試験体の破壊時の状況

図-22に、支間中央での荷重とたわみの関係を、図-23、24に①試験体と③試験体の破壊時の状況を示す。

①試験体では、载荷板直下のエッジ部で角パイプが圧壊し、その破壊が支間直角方向においても生じることで、圧縮側の平板と角パイプの接続が剥がれて終局に至る形態となった。このときの破壊が、嵌合部のメス側で生じているのは、試験体の角パイプ位置が偏心していることに起因しているものと考えられる。

②試験体では、約100kNで、FRP部材の破壊音がして、たわみが増加したことから、载荷を停止して除荷した。载荷終了後、嵌合部の状況を確認したが、角パイプに割れ等の変状は見られなかったことから、渡し板内部の角パイプの割れに起因して、たわみが急増したのと考えられる。

③試験体では、たわみが88kNで急増したものの、その後も荷重は増加し、92kNでFRPの破壊音とともに荷重が81kNに低下した。これは、角パイプが载荷板直下のエッジ部で圧壊したことに起因すると思われる。また、92kNでの荷重低下は、上下面の平板に変状が見られないことから判断して、内部の角パイプが破壊したものと推察できる。なお、この状態においても、設計荷重以上の約80kNの荷重を保持していることから、実用上十分な耐荷性能を有していると考えられる。

④試験体では、約108kNで急増したものの、その後も荷重は増加し、132kNで荷重が115kNに低下した。約108kNでのたわみの変化は、試験時の目視観察により载荷板エッジ部で大きく変形したことが確認されたことから、この部分の角パイプが圧壊した影響と考えられる。また、132kNでの荷重低下は、試験時の上面観察から、载荷板エッジ部で内部の角パイプが破壊したものと思われる。なお、破壊後も、設計荷重を超える約115kNの荷重を保持していることから、実用上十分な耐荷性能を有していると考えられる。

5. まとめ

段差乗り越え装置の基本性能を整理し、軽量タイプと大型車タイプについて、耐荷、耐久性能を明らかにした。

ただし、軽量タイプについては、大型車が頻繁に走行することは困難であるが、鋼製フレームを大型車タイプと兼用することを考慮すると、4分割を2分割に変更して、端部の角パイプを増やすことで、軽量化と耐荷力の

向上が図れるものと考えられる。

これらの結果、実配備に適用できる、段差乗り越え装置となることが確認できた。

本研究は、阪神高速技術㈱との共同研究として行われたものであり、ご指導頂いた共同研究の関係各位に、感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 原田大樹, 佐藤知明, 安藤翠: 可搬性・施工性に優れた災害時用段差乗り越え装置の開発, 阪神高速道路第52回技術研究発表会論文集
- 2) 野村真介, 原田大樹, 五百木竜也: 可搬性・施工性に優れた災害時用段差乗り越え装置の開発, 高速道路と自動車, 第65巻, 第2号, 2022.2.

2022.4.21 受付

グラビア写真説明

九州新幹線（西九州）、宝町橋りょう（合成けた）

本工事は、九州新幹線（西九州）、武雄温泉起点65km372m～65km520m間、橋りょう延長152m（宝町Bv：82m、宝町BL：70mの単純合成けた2連）の製作・運搬・架設工事です。

架橋箇所は、長崎県交通局バス駐車場とJR長崎駅にアクセスする国道202号および長崎電気軌道（路面電車）の上空に位置するため、送り出し（手延べ）工法を採用しました。手延べ機・連結構・主桁を合わせた送り出し部材は、全長で約208m、全体重量で約1650t（宝町Bvと宝町BLは取り合い桁を介して連結）となりました。

現場はJR長崎駅から約600m起点方の市街地に位置し、工事が影響を及ぼす国道202号は90,000台／日の交通量を有する幹線道路であり、夜間架設では、交通規制および安全の確保に細心の注意を払い、無事故、無災害で竣工することができました。

西九州新幹線の開業を契機に、他県からのアクセスも便利になり、西九州地域の新しい未来が創造されます。

（田頭 正臣）

北陸新幹線、木の芽川橋りょう（合成けた）

本工事は、北陸新幹線延伸ルートである金沢駅～敦賀駅区間（線路延長：約125km、工事延長：約115km）のうち、敦賀駅付近を流れる木の芽川上部に位置する本線・回送線、その下部に位置する在来線特急ルートである上下乗換線の3橋の製作架設工事です。

架設工法は3橋ともに1,000tクレーンによる一括架設工法を採用し、クレーンを据え付けるための構台を設置し、上下乗換線、回送線、本線の順番に架設を行いました。在来線（北陸本線）との鉄道営業線近接工事でもあったため、JR西日本の資格を持った技術者の配置が必要な工事でした。隣接工区との工程及びヤードの調整が非常に難しい現場でありましたが、発注者及び関係者皆様のご協力により無事に竣工することができました。

令和5年度末（2023年度末）の完成予定に向け、今も工事が進められていますが、本事業により、鉄道利用者数の増加が見込まれ、地域間交流や観光への影響など社会全体への効果が期待されます。

（小林 祐介）

北陸新幹線、第1島町橋りょう（合成けた）

本工事は、北陸新幹線延伸ルートである金沢駅～敦賀駅区間（線路延長：約125km、工事延長：約115km）のうち、石川県小松市に架かる第1島町橋りょう及び第2島町橋りょうと石川県加賀市に架かる大菅波橋りょうの3橋の製作架設工事です。

主鋼材には、ニッケル系高耐候性鋼材を使用しました。架設工法はトラッククレーンベント工法で全て道路上に位置していたため、架設時には夜間全面通行止めを行いました。スラブ軌道の鉄道に特有の路盤コンクリートの施工も行いました。

現場近辺は加賀温泉郷と呼ばれており、3つの温泉地と城下町、漁港、宿場町など6つの地域からなっており、四季折々の里山や海の幸に恵まれ、工事施工中から多くの観光客が見受けられました。令和5年度末（2023年度末）の完成予定に向け、今も工事が進められていますが、本事業により、鉄道利用者数の増加が見込まれ、更なる地域間交流や観光への影響など社会全体への効果が期待されます。

（小林 祐介）