

KMA ジョイントの技術的取り組みと改良のあゆみ ～高耐久化・高品質化への挑戦～

The Journey of Technical Initiatives and Improvements in KMA Joint
— Challenges for High Durability and High Quality —

久保田 和徳

株式会社橋梁メンテナンス技術製造部
開発課 課長

坂本 哲史

株式会社橋梁メンテナンス技術製造部
技術課 課長

株式会社橋梁メンテナンスが提供する KMA ジョイントは、2003 年の販売開始以来、20 年以上にわたり市場に導入されてきた製品です。本製品は、アルミ合金鋳物製であり、本体と定着部材である孔あきジベルが一体成型された構造を特徴としています。床版や橋台に対しコンクリートで一体化される基本構造は販売開始以来変わっていませんが、細部構造においては継続的な改良が加えられてきました。これらの改良は、道路管理者からの要求性能に対応することに加え、製品の高耐久化・高品質化を目指して実施されたものです。本稿では、KMA ジョイントの開発から現在に至るまでの技術的な取り組みと改良の経緯について振り返ります。

キーワード：橋梁メンテナンス、伸縮装置、KMA ジョイント、要求性能

1. はじめに

株式会社橋梁メンテナンスは、その前身の設立以来、一貫して道路橋の伸縮装置の販売を続けてきました。伸縮装置に求められる性能として耐久性や止水性などがありますが、道路管理者の技術基準において要求性能が明確化されたのは、照査方法や照査基準についての規定が新設・強化された 2000 年代以降のことです。

KMA ジョイントは、本体がアルミ合金鋳物による一体構造で、材質に AC4CH を採用した伸縮装置です（図 1）。その構造的な特徴として、まずフィンガーが三角形状となっていることが挙げられます。また、コンクリートとの定着構造には孔あきジベルが採用されており、確実な一体化を実現しています。さらに、多層多室セル構造の止水ゴムを伸縮装置本体に挟み込む構造となっており、高い止水性能を発揮します。これらの特徴により、KMA ジョイントは優れた性能を持つ伸縮装置として機能します。

加えて、アルミ合金鋳物は一定の長さ（1 m）に製造された部材（以下、定尺材）で構成されています。軽量で取り扱いやすく、損傷時には部分交換も可能なため、施工性や維持管理面でも優れた製品です。

KMA ジョイントの構造は 2003 年の販売開始以来、技術基準や要求性能に対応するため、様々な構造変更を行ってまいりました。本稿では、現在に至るまでの取り組みについて振り返ります。

2. シーベックジョイントから KMA ジョイントへ

KMA ジョイントは、橋梁メンテナンスの設立当初からの主力製品であったシーベックジョイントが抱えてい

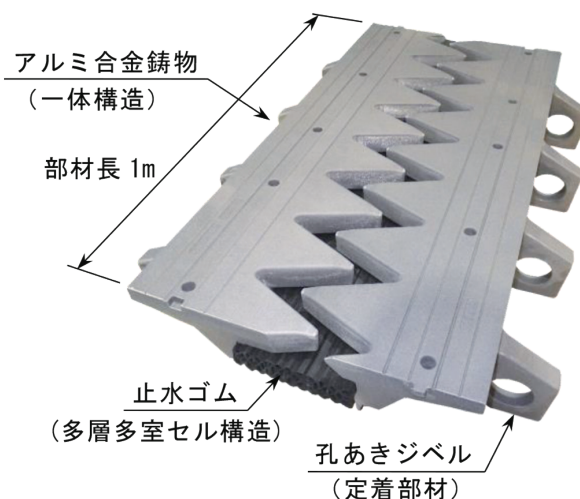


図 1 KMA ジョイント

た課題を解決するために開発されました。

シーベックジョイントは、本体のアルミ合金鋳物にナットで締結される PC 鋼棒と支圧板を用いた定着構造を採用していましたが、箱抜き深さが大きいという構造上の制約がありました。さらに、コンクリートの養生後に PC 鋼棒への軸力導入作業が必要であり、この作業に時間を要していました。加えて、定尺材や止水ゴムなどのすべての伸縮装置構成部材を現地で組み立てる施工方法が採用されたため、施工時間の長期化が課題となるとともに、止水性を担保するための工程の多くが現場施工に依存する状態でした。

これらの課題は、本格的な橋梁の維持管理時代を迎え需要の増加が見込まれる伸縮装置の取替補修工事において、採用拡大を図るうえでの大きな障壁となっていました。

市場のニーズに応えるためには、より効率的で施工性に優れた製品の開発が急務となっていたのです。

そこでKMA ジョイントでは、コンクリートとの定着構造に孔あきジベルを採用するという抜本的な構造変更を行いました。これにより、従来必要であったPC 鋼棒などの定着部材が不要となり、それに伴って軸力導入作業も完全に廃止することができた結果、現地での施工時間が削減されることとなりました。

また、定着部の構造高がシーベックジョイントよりも抑えられたことで、コンクリートの箱抜き深さを低減することが可能になりました(図2)。これは補修工事において特に重要な改善点であり、定着部コンクリートの撤去時間も短縮されました。

さらに、構成部材の工場組立方式を採用したことで、現場での組立作業が不要となり、施工工程が削減されました。

以上の構造変更により、KMA ジョイントはシーベックジョイントの取替え時と比較して施工時間が大幅に短縮し、現場施工に対する合理化が実現しました。

3. KMA-320 の開発

1995 年 1 月に発生した阪神淡路大震災(兵庫県南部地震)の後、1996 年(平成 8 年)に改定された道路橋示方書(以下、道示)では、耐震設計に関する規定の新設・変更が行われ、稀に発生する大きな地震動においても床版が衝突しない遊間の確保や、落橋の防止に有効な連続桁の採用が進められたことから、従来よりも大伸縮・広遊間に対応できる伸縮装置が求められるようになりました。

開発当初の KMA ジョイントの製品ラインナップのうち適用条件が最大の KMA-230 タイプは、伸縮量が 230mm、遊間量が 300mm で、比較的大きな設計条件に対応可能な製品として認知され、道示改定を背景に特に大きな床版遊間・設計伸縮量において実績を増やしてきましたが、さらなる大型化の要望に応えるため、適用条件の大きな型式の開発に着手しました。2013 年に開発された KMA-320 タイプの適用条件は、遊間量が 400mm、伸縮量で 320mm に拡大しました。

伸縮装置は直接輪荷重を受ける部材であることから、取替などのメンテナンスを想定して設計する必要があります。特に大型の伸縮装置では、取替工事に必要な施工費や交通規制日数が大きくなることから、高い耐久性が求められます。

このような背景の中、2011 年 7 月に改定された東日本・中日本・西日本高速道路株式会社の設計要領と構造物施工管理要領(以下、NEXCO 要領)では、伸縮装置の疲労耐久性の照査基準について、疲労耐久性の照査期

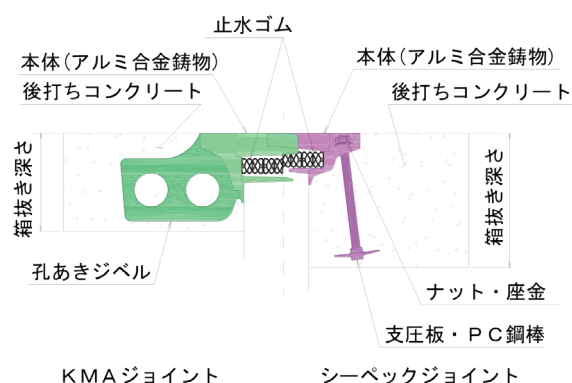


図2 KMA ジョイントとシーベックジョイントの違い

間とともに繰返し載荷試験により照査する際の載荷回数が示されてました。

ここでは、照査期間は伸縮装置の種類ごとに定められており KMA ジョイントなどの製品ジョイントでは 30 年とされています。繰返し載荷試験により照査する際の載荷回数については、荷重振幅を設計荷重に相当する 200kN とする場合、照査期間 1 年あたりで 12 万回とされていることから、製品ジョイントでは 360 万回となります。また、設計伸縮量が大きい場合に使用される鋼製フィンガージョイントでは、その照査期間が 50 年とされ、製品ジョイントと同様の条件で、50 年で 600 万回の繰返し載荷試験が必要となります。

現在では、この照査方法が地方整備局の仕様書や一部の高速道路会社の技術基準において参考とされており、KMA ジョイントなどの製品ジョイントの疲労耐久性の照査において広く認知されています。

そこで KMA-320 タイプの開発においては、鋼製フィンガージョイントからの取替えや、工期に鋼製フィンガージョイントの製作が間に合わない場合の代替案となるため、耐久性の照査期間を鋼製フィンガージョイントと同等の 50 年と設定しました。

その耐久性を確認するため、製品を実際の橋梁と同様にコンクリートに埋めた試験体を製作し、繰返し載荷試験としてフィンガー部に荷重を繰返し載荷する定点載荷試験を行いました(図3)。その結果、フィンガーの破断や定着部の後打ちコンクリート部のひび割れなどの疲労損傷は生じませんでした。

この結果から KMA-320 タイプは照査期間 50 年相当の疲労耐久性を有していることが確認されました。

現在では、大きな床版遊間・設計伸縮量の橋梁において、設計・製作に長い工期を必要とする鋼製フィンガージョイントの代替品として、短納期・高耐久の製品ジョイントとしての特徴を生かし、実績を増やしています。

4. 止水性について(NEXCO 止水性能試験への挑戦)

(1) 止水性の課題

製品ジョイントにおいて止水性を確保することは、製品の品質と耐久性を維持する上で極めて重要な課題です。止水性に関して特に注意を払うべき箇所は、止水ゴムと伸縮装置本体の境界部、伸縮装置端部、そして本体の定尺材同士の接合部などが挙げられます。

これらの箇所は構造上、異なる部材が接合される部分であるため、施工や組立の精度が止水性能に直接影響を与える重要なポイントになります。そこで、工場における製造工程では、これらの止水性を確保するために綿密な作業手順が確立されています。

はじめに、本体定尺材や止水ゴムなどの各構成部材を工場にて精度良く組み立てる作業が行われます。その後、定尺材同士の境界部に対して止水処理を施すことで、将来的な漏水リスクを最小限に抑える対策が講じられています。したがって、この止水処理が適切に実施されているかどうかを確認することは、製品の品質保証において重要なプロセスとなります。

(2) 工場出荷製品に対する水張試験

当社では、組立が完成した製品に対する自主検査として、フィンガー遊間部への水張り試験を全製品に対して7時間以上実施しています。この試験は、止水性能を検証する方法であり、止水処理が確実に行われていることを客観的に確認することができます。試験の結果、漏水がないことが確認された製品のみが出荷することで、高い品質基準を維持し、信頼性のある製品を提供しています(図4)。

(3) 現場継手部止水性能試験 (KMA-110 タイプ)

NEXCO 要領では、止水ゴムの現場継手部は構造上の弱点となるため、現場継手部を模擬した止水性能試験の方法が明確に規定されています。この試験は実際の使用環境を想定した条件下で実施されるもので、供試体の止水構造に対して、常温(15℃±5℃)、高温(40℃以上)、そして低温(−10℃以下)という温度条件において、それぞれ所定の回数の圧縮と引張を繰り返し負荷した後、水張りをを行い伸縮装置の下面に漏水が発生しないことを確認することが定められています。

この止水性能試験については合理的な考えがあり、NEXCO 要領では、『各製品の形式に対し最大遊間を有するもので実施すればよい。性能確認された製品ジョイントの遊間量以下で同様の型式・施工方法であれば性能試験を省略が出来る』と規定されています。

NEXCO 要領に止水性能を担保する方法として止水性

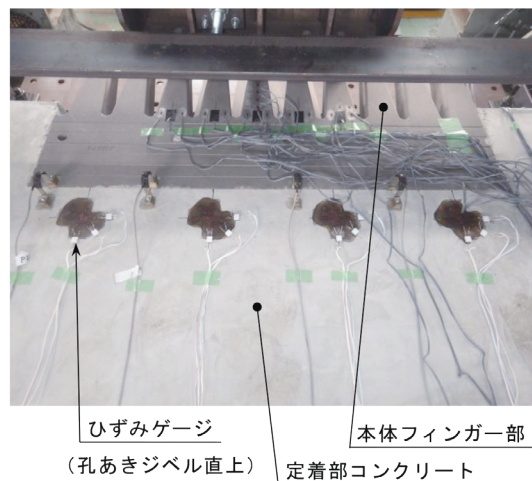


図3 定点载荷試験後の KMA-320 タイプの疲労試験体



図4 工場出荷製品に対する水張試験

能試験が規定される時期に先立ち、NEXCO は予め、製品ジョイントの適用範囲である設計伸縮量 100mm 以下の製品を有する各メーカーに試験実施の必要性を傳達し、事前に試験を受験することとなりました。本来であれば、伸縮量が大きくなるほど止水性の確保が技術的に困難になるため、設計伸縮量が 80mm の KMA-80 タイプで合格し、使用可能な製品とすることも考えられましたが、自社で試験機を導入し止水方法を検討することで、より大きな型式の許容伸縮量が 110mm の KMA-110 タイプで受験し、2012 年 3 月に合格しました。

この試験の合格により、KMA ジョイントは NEXCO 要領に適合する止水性が確認された最初の製品のひとつとしての地位を確立しました。これにより、当社製品は先駆的な位置づけを示すことができました。

(4) 恒温試験室の導入

次なる目標として KMA-320 タイプでの試験合格に向け、社内試験設備の整備に着手しました。

従来の低温試験では冷凍庫を用いて試験体を冷却して

いましたが、試験機本体を冷凍庫に収納できず、試験中に試験体を低温保持できないという課題があったためです。

この課題を解決するため、試験体に圧縮と引張を繰返し負荷するための試験機全体を収容可能で、室温を-10℃以下に保持できる冷凍設備を備えた恒温室（以下、恒温試験室）を富山県南砺市の南砺工場（伸縮装置組立工場）に導入しました（図5）。

この設備投資により、社内試験においても実際の試験と同等の厳格な低温環境下での性能評価が可能となり、KMA-320 タイプの試験合格に向けた準備を完了することができました。

なお、この恒温試験室は現在も、新規製品の開発から既存構造の検証確認まで、幅広い試験業務に活用しています。

(5) 現場継手部止水性能試験 (KMA-320 タイプ)

止水性能試験は、公的機関またはこれに準じる機関で実施しなければならないと規定されていたことから KMA-110 タイプは、一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所（以下、施工総研）において試験を実施しました。

KMA-320 タイプの試験も施工総研での実施を考えていましたが、試験実施時期は他社の競合製品の試験も多く行われており、試験室に空きがなく早期に受験することが困難な状況でした。

そこで、早期の合格を実現させるため、冷凍設備を備えた恒温試験室を、高温にも対応可能に改良することで、試験法に則した試験が実施可能な恒温試験室へと大幅に進化させました¹⁾。

この積極的な設備改良が実を結び、2014年3月に施工総研による厳格な設備確認を経て、同年4月に自社設備での試験実施に至りました。試験期間中は、施工総研から派遣された試験官に立会頂き、10日間にわたる試験の結果、無事に合格となりました（図6）

この結果、KMA-320 タイプは大遊間に対応できる伸縮装置として、NEXCO 要領の止水性能基準に適合する製品となり、KMA ジョイントが全形式について止水性を有する製品ジョイントであることを実証することができました。

またこの成果は、自社恒温試験室を導入したことによる効果であり、その利点を最大限に活かした結果であると言えます。

(6) 止水ゴムの実環境下における耐久性

KMA ジョイントの高い止水性能は、圧縮された止水ゴムの復元力によって実現されています。また、その止水性能の評価方法には、前述のとおり、NEXCO の止水性能試験があります。しかしながら、止水ゴム自身の経

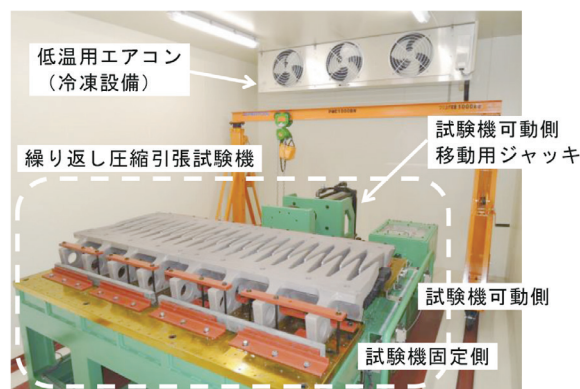


図5 恒温試験室内の試験設備
室内を高温とする際には電気ストーブを使用

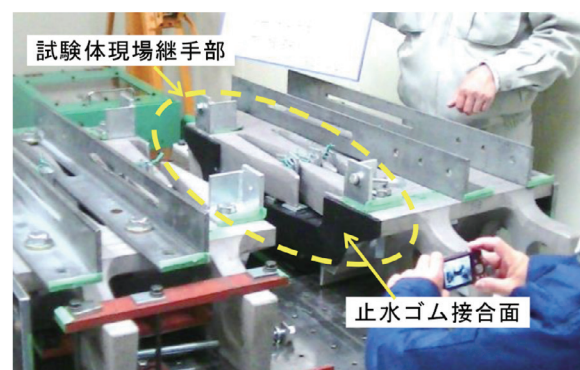


図6 KMA-320 タイプの止水性能試験体の現場継手部
(接続前)

年劣化も含めた止水性能の評価方法は、現時点では確立されていません。そこで、KMA ジョイントに使用される止水ゴムは優れた耐候性を有する EPDM（エチレンプロピレンゴム）ではあるものの、経年劣化を含めた止水性能の評価や改良した止水ゴムの性能評価を目的として、独自に促進試験による評価方法を検討しました²⁾。

具体的には、2012年に橋梁の架け替え工事で譲り受けた供用から約20年経過したシーパックジョイントの止水ゴムを皮切りに、約20件に及ぶ実環境下で劣化した止水ゴムの物性変化と、化学反応速度と温度の関係から設定した促進試験の物性変化との関係を比較することで、促進試験の妥当性を評価しました。その結果、実環境下で劣化したゴム物性の変化は、老化試験から得られた近似線に近い位置にプロットされることから、実環境下を概ね再現できる促進試験を提案することができました（図7）。

また、止水ゴムを改良する際には、ゴム自体の物性変化を抑えた調合とすることで止水ゴム全体の残留変形の低減を目指しました。改良した止水ゴムと従来の止水ゴ

ムを同じ幅で拘束した状態で促進試験を行い、拘束を解放した際の止水ゴム幅を確認したところ、改良型の方が止水ゴム幅が大きいことから、長期に亘り止水性能が確保できる止水ゴムの改良ができました(図8)。

5. 環境性について

(優れた環境特性：騒音低減構造の実現)

KMA ジョイントは、二つの技術により騒音低減を実現しています。一つは、フィンガーが三角形状となっている点です。この構造により、車輪が伸縮装置を通過する際の動きが非常にスムーズになり、従来の鋼製フィンガージョイントなどで発生しがちな衝撃音や振動音が大幅に抑制されます。

二つ目は、止水ゴムに採用されている三層の多室多層セル構造です。この特殊な構造では、止水ゴムの中間部に空気の層が形成されており、この空気層が車両通過時に発生する衝撃音を効果的に吸収する役割を果たします。また、この構造は、橋梁下面への空間に音の伝播を抑制する効果もあり、橋面上で発生した音が橋梁構造を通じて下方に伝わることを防ぐことで、周辺への騒音影響を抑えることができます。

騒音低減性能は、実際の現場における測定データによって裏付けられています。既設の製品伸縮装置からKMA ジョイントへの取替え工事が行われた際に実施された騒音測定では、橋面上での測定では3.6 デシベル、桁下での測定では9.2 デシベルの騒音低下が確認されました。

この結果から、KMA ジョイントは、車両走行時の騒音を低減できる伸縮装置であると実証されました。三角形、多層多室セル構造の止水ゴム、そして実測データに裏付けられた性能により、都市部の道路橋における環境に配慮した伸縮装置といえます。

6. 後打ちコンクリート部表層の耐久性について

伸縮装置の設置区間では、そのタイプを問わず、後打ちコンクリート部表層に損傷が散見されることが長年の課題として認識されていました。この状況を受け、当社では後打ちコンクリート部表層の耐久性向上を目指し、構造検討を実施しました。

路面に露出した後打ちコンクリートは輪荷重が直接作用する応力伝達上の重要な構造部位であることから、荷重作用時の応力状態および変形挙動を定量的に評価するため、後打ちコンクリートと孔あきジベル、輪荷重をモデル化し FEM による数値解析を実施しました。その結果、輪荷重の走行位置によって、孔あきジベル上面角部

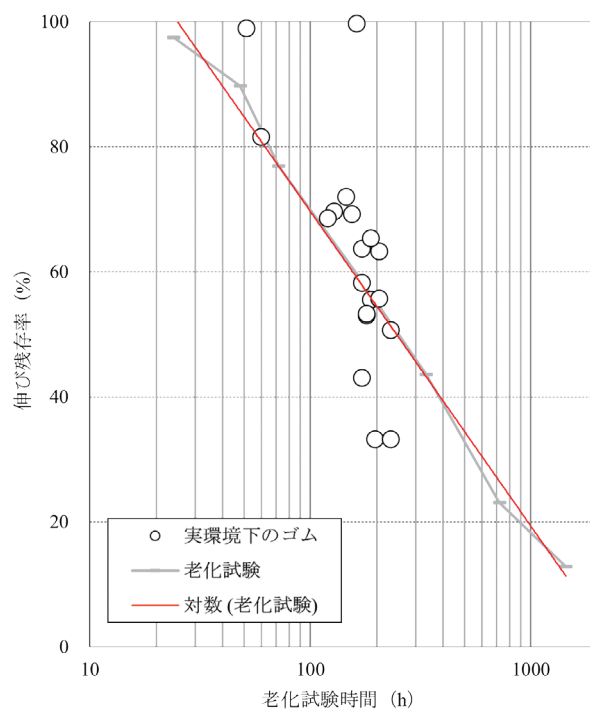


図7 実環境下（19件）と老化試験の「伸びの残存率」の比較

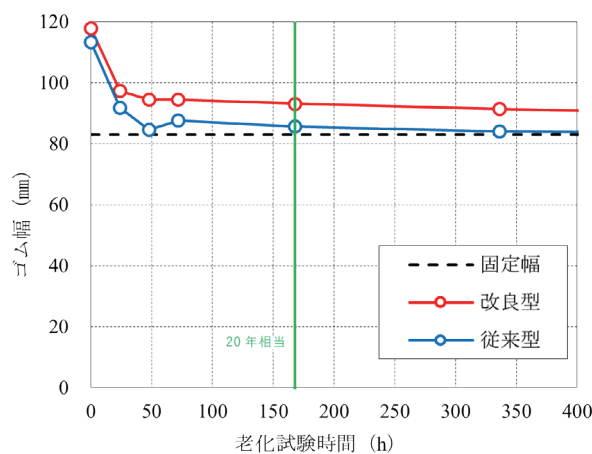


図8 止水ゴム幅の推移（改良型と従来型の比較）

に発生する応力は、引張側と圧縮側に交番することが確認され、後打ちコンクリート部表層の損傷の原因となる可能性があると考えられ、対応策としてのジベル直上への用心鉄筋の配置やジベル直上のコンクリートかぶり厚増大について検討しました。

このFEM解析で得られた応力性状を検証するため、試験体に輪荷重を繰返し載荷する輪荷重走行試験を実施しました。本試験では、基本形状の試験体に加え、用心鉄筋の有無および孔あきジベルの配置深さを変化させた試験体を用意し、それぞれの応力性状を詳細に比較検証いたしました³⁾。

その結果、用心鉄筋を配置しない試験体、すなわちコンクリートかぶりのみで構成された試験体では、FEM解析の結果と同様に交番応力が生じることが確認されました。一方、後打ちコンクリート部表層に用心鉄筋を配置した試験体では、引張応力が大幅に減少し、圧縮応力が支配的に作用する状態となることが確認されました。この結果は、用心鉄筋の有無が応力性状に決定的な影響を及ぼすことを示すものであり、当初の仮説を裏付ける重要なデータとなりました。

さらに、孔あきジベルを従来よりも深い位置に配置し、直上のコンクリートかぶりを増大させた試験体については、用心鉄筋を配置しない場合であっても引張応力が顕著に減少することが確認されました。用心鉄筋を配置する場合では当然のことながら、同様に引張応力が減少していました。

この知見は、構造的工夫によって用心鉄筋に依存せずとも耐久性の向上が可能であることを実証するものであり、施工性の観点からも極めて有意義な成果であると考えております。これらの試験結果を総合的に判断すると、従来型であるⅡ型は用心鉄筋の配置が標準化されたことで、後打ちコンクリート部表層の耐久性が十分に確保された製品であることと、従来型よりも孔あきジベルのかぶり厚を増大させた改良型であるⅢ型は交番応力を効果的に抑制する構造を実現しており、施工の簡素化とコスト削減にも大きく寄与する製品となっています。

7. おわりに

本稿では、KMA ジョイントが満たすべき要求性能への取り組みについて、その成果を概説いたしました。

道路管理者の皆様および関係各位からの多大なるご協力とご支援により、多くの重要な知見を得ることができましたことを深く感謝申し上げます。

今後も、皆様からのご指導を賜りながら、道路橋示方書をはじめとする技術基準における伸縮装置への要求性能や照査項目の変化に常に対応してまいります。KMA ジョイントのさらなる改善と改良を継続的に推進し、道路インフラの安全性と信頼性向上に一層貢献してまいります。

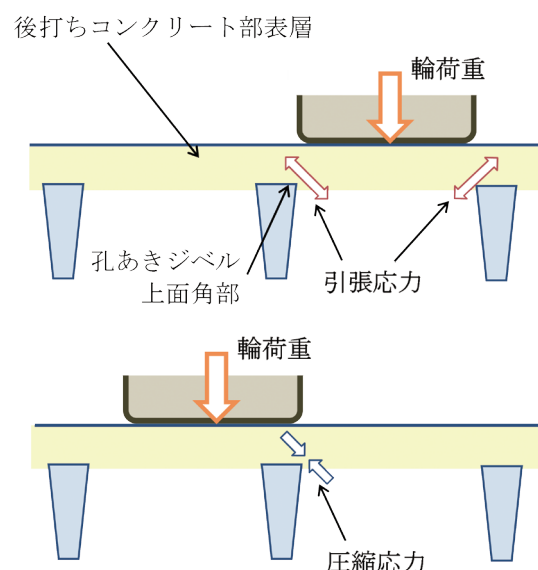


図9 輪荷重直接载荷による孔あきジベル上面角部の応力
上：引張応力となる走行位置 下：圧縮応力となる走行位置
(孔あきジベル背面)

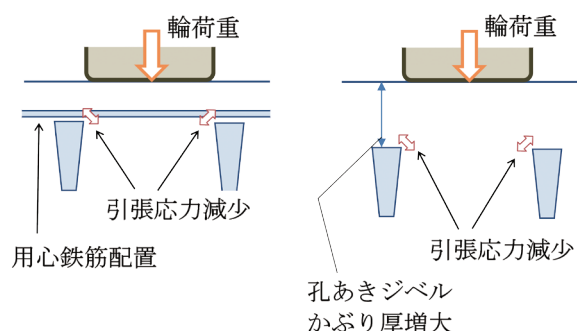


図10 用心鉄筋配置と孔あきジベルかぶり厚増大による
応力低減

参考文献

- 1) 長谷川, 吉江, 田邊, 大森, 山村, 木下：大型伸縮装置 (KMA-320) の止水性能試験, 川田技報, Vol. 34, 2015.
- 2) 長谷川, 得永, 穴吹：伸縮装置の止水性能向上について, 川田技報, Vol. 44, 2025.
- 3) 柳澤, 松井, 長谷川, 久保田：輪荷重走行下における伸縮装置の後打ちコンクリート部の応力性状, 構造工学論文集, Vol. 67A, 2021. 3