

論文・報告

改良型「KMA II」ジョイントの耐久性

Durability of New Expansion Joint KMA II

長谷川 真司 *1
Shinji HASEGAWA

木下 正彦 *2
Masahiko KINOSHITA

柳澤 則文 *3
Norifumi YANAGISAWA

河合 功治 *4
Koji KAWAI

久保田 和徳 *5
Kazunori KUBOTA

合津 尚 *6
Takashi GOTSU

「耐久性」「耐候性」「走行性」「低騒音性」「止水性」に優れた道路橋用伸縮装置「KMA」ジョイントに、これからの維持管理時代に必要な「施工性」を加えるため、伸縮装置本体及び定着構造を改良し「KMA II」ジョイントを開発した。その優れた耐荷力・耐久性についてここに報告する。

キーワード：伸縮装置、孔あきジベル、アルミ合金鋳物、施工性、疲労試験

1. はじめに

道路橋伸縮装置は、車両の走行により繰り返し荷重を受ける。さらに力学的な作用以外にも直射日光や雨水、降雪地域では融雪剤などの化学的な作用も受け、常に厳しい条件下で使用されている。しかし、伸縮装置は橋梁を構成する各部材の中では付属的な部材として扱われ、要求される条件に比べて、作用する荷重状態や応力の伝達機構などの研究は、主部材に比べて未だ少ないのが現状である。

また我が国においては、これから本格的な橋梁の維持管理時代を迎えるにあたり、道路橋伸縮装置においても、今まで求められた耐久性・環境性などに加えさらに、更新時に交通規制の時間が短く施工性に優れた伸縮装置が求められている。

そこで我々はかねてから床版との定着作業を簡素化した KMA ジョイント^{1)~3)}の開発を進め、施工性に優れた伸縮装置として販売してきた。

しかしながら、既設橋梁における伸縮装置の取替工事ではコンクリートブレイカー等の破碎機を使用するため、既設床版を構成するコンクリートや鉄筋など主部材の損傷が懸念されてきた。

そこで「取替作業の時間短縮」と「既設床版の損傷軽減」を目的に、床版切り欠き断面を低減させるよう伸縮装置とその定着構造の改良を行い、2011年に新型ジョイント「KMA II」⁴⁾として、静的載荷試験の結果を含め、その耐荷力について報告した。その後、従来の KMA ジョイントよりも広い遊間・大きな伸縮量に対応可能な孔あきジベル定着構造の伸縮装置 KMA II-320(許容伸縮量 320mm)

を開発した。ここでは続報として、KMA II-320の定着構造の耐荷力、静的力学特性について報告するとともに、その後に行った疲労試験の結果から改良型「KMA II」ジョイントの優れた耐久性について報告する。

2. 改良前後の伸縮装置とその定着構造

改良前後の伸縮装置とその定着構造の断面比較は図 1 および写真 1 に示す通りである。

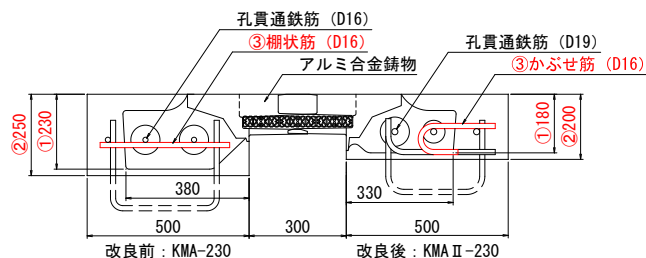


図 1 改良前後の標準断面比較

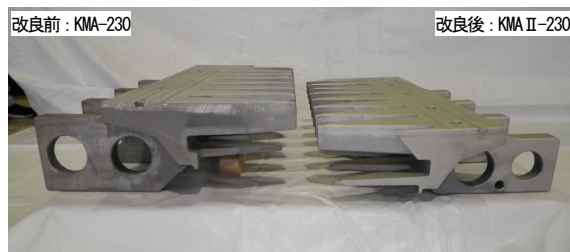


写真 1 改良前後の伸縮装置の断面比較

従来型 KMA から KMA II への主な改良点は①～③の通りである(代表例として KMA II-230 で示す)。

- ① 製品高さを低減 (KMA II-230 は 230 mm→180mm に約 22%減)

*1 橋梁メンテナンス技術営業部開発課
*2 橋梁メンテナンス技術営業部開発課 課長
*3 川田工業株式会社技術研究所構造物試験室 室長

*4 川田建設株式会社北陸支店事業推進部工事課
*5 橋梁メンテナンス技術営業部技術課
*6 橋梁メンテナンス取締役

- ② 床版+舗装の切り欠き深さを低減（KMA II-230 は 250mm→200mm に 20%減）
- ③ 橋軸方向の補強鉄筋形状を変更（柵状筋→フック筋を上から被せる形状（かぶせ筋）に。）

従来型では柵状筋であった橋軸方向の補強鉄筋を、フック形状のかぶせ筋に置き換える事で^{*}、孔貫通鉄筋より下方のコンクリートも一体となってジベルのアップリフト作用に抵抗する構造となり、その結果、伸縮装置本体の製品高さが低減され、それに従い切り欠き深さの低減が可能となった。（※実用新案第 3164031 号）

3. KMA II-320 静的載荷試験

(1) 伸縮装置本体の形状

今回新たに開発した KMA II-320 の伸縮装置本体の断面形状は図 2 で示す通りである。

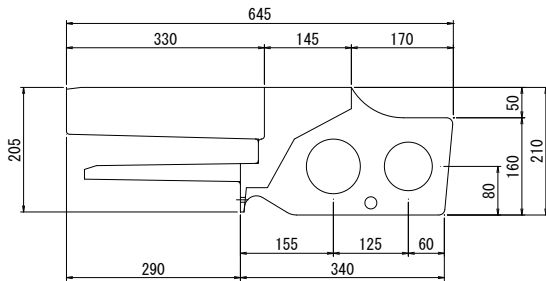


図 2 KMA II-320 の標準断面図

伸縮装置本体の形状寸法は、他の KMA II と同様に設計荷重の 2.2 倍に対して許容応力度内に収まるように決定した。

(2) 供試体

KMA II-320 の耐荷力を確認するために静的載荷試験を行った。その試験体には製品同様のアルミ合金鋳物製の伸縮装置 1 パネル（1m/パネル）を用いた。また配筋についても、他タイプ同様、貫通鉄筋より下方のコンクリートのアップリフト作用への抵抗を期待して、かぶせ筋を後ろのジベル孔に配した（図 3、表 1）。

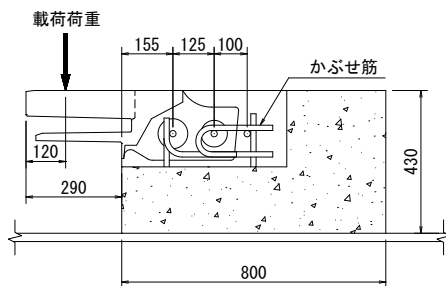


図 3 KMA II-320 静的載荷試験供試体断面

表 1 モデルの構造諸元

モデル	伸縮装置 本体部材	補強鉄筋		コンクリート 設計基準強度
		孔貫通筋	かぶせ筋	
A	アルミ合金鋳物	D19	D16, 後孔	30 N/mm ²

(3) 設計荷重と載荷位置

設計荷重は、鋼製フィンガージョイントの設計要領⁵⁾に従って、伸縮装置の先端に【鉛直荷重：100kN×（1+衝撃係数 i:1.0）/2】を設計荷重として載荷するものとし、実際の載荷荷重はジベル孔に発生するせん断力が、設計荷重載荷時と同等となるように、伸縮装置の先端から 120mm の位置に 167kN を基準とした。また安全率は従来型製品同様にアルミニウムハンドブック⁶⁾に従って $F_s=2.2$ とし、定着構造も含めて $167kN \times 2.2=368kN$ の載荷に対して耐荷力が有るかを確認した（目標耐荷力）。また、荷重の載荷幅は 500mm とした（図 4 参照）。

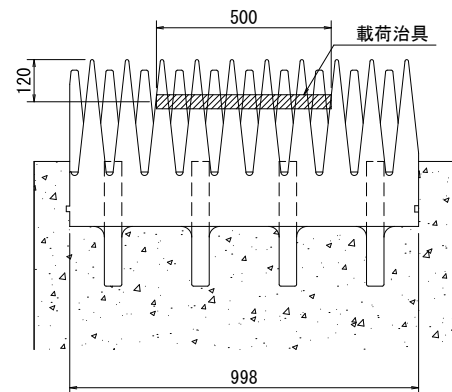


図 4 荷重載荷位置とその載荷幅

(4) KMA II-320 静的載荷試験の結果

a) 耐荷力

静的載荷試験の結果、368kN（目標耐荷力）の載荷では供試体に異常は認められなかった。その後 475kN（安全率 2.84）載荷時点で後打ちコンクリート上面にひび割れが発生し、その後 515kN（安全率 3.08）で、伸縮装置本体のフェイスプレート根元が破断し、載荷試験終了とした（写真 2）。

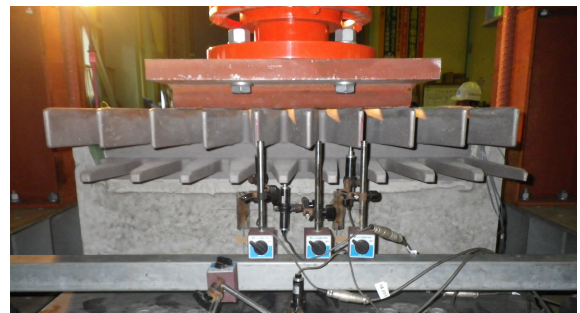


写真 2 モデル A の載荷状況

b) 孔貫通筋・かぶせ筋の挙動

孔貫通鉄筋およびかぶせ筋の発生ひずみは、目標耐力を超えるまでは微小であるが、载荷荷重が 425kN を超えたあたりから、その増加量は大きくなり、後打ちコンクリート上面にひび割れが発生し始める 475kN 以降は大きくなる。

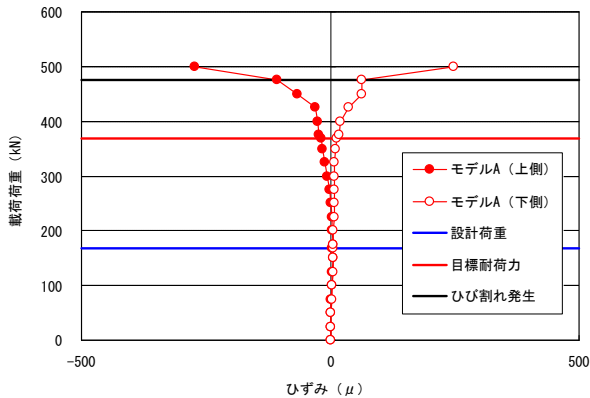


図 5 モデル A 孔貫通筋 载荷荷重-ひずみ

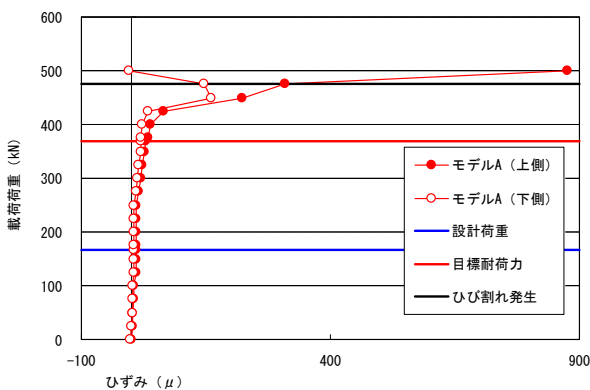


図 6 モデル A かぶせ筋 载荷荷重-ひずみ

(5) KMA II-320 静的载荷試験の考察

KMA II-320 の静的载荷試験から伸縮装置本体および定着構造ともに目標以上の耐力を有することを確認した。また供試体が 1 体であることから、断定はできないが、後打ちコンクリートにひびわれが発生した時点で定着構造が破壊されたと考えると、定着構造は 475kN (設計荷重の 2.84 倍)、フェイスプレート根元は 515kN (設計荷重の 3.08 倍) 程度の耐力を有すると言える。

4. 新型ジョイント「KMA II」の耐久性

(1) 疲労試験の結果

伸縮装置とその定着構造の耐久性を確認するため、疲労試験を行った。試験ケースは表 2 の通りで、使用した伸縮装置のタイプは KMA II-160, 230, 320 の全 7 ケースと

した。また繰り返し速度は 1.0~1.5Hz の範囲とした。唯一設計荷重で繰り返し载荷を行った試験ケース (KMA II-160) については、2000 万回载荷しても破壊には至っていない。それ以外の試験ケースについては、全てフェイスプレートの根元 (アルミ合金鋳肌) から破断した。その際、後打ちコンクリートにはひび割れは発生しなかった。また表中の応力範囲はフェイスプレート根元の発生応力の内、最大値を採用している。

表 2 応力範囲と繰り返し回数、破断位置

記号	名称	応力範囲 N/mm ²	破断回数	破断位置	記事
○	KMA II-160(1)	74.1	20,000,000	中断	設計荷重
●	KMA II-160(2)	218.7	40,529	根元	
●	KMA II-160(3)	138.6	636,464	根元	
●	KMA II-230(1)	98.7	1,491,900	根元	
●	KMA II-230(2)	127.2	642,255	根元	
●	KMA II-230(3)	110.9	3,648,911	根元	
●	KMA II-320	110.1	1,792,596	根元	

(2) S-N 線図

各試験ケースについて行った疲労試験の結果をプロットし最小二乗法を用いて近似線を引いたものを図 7 に示す。

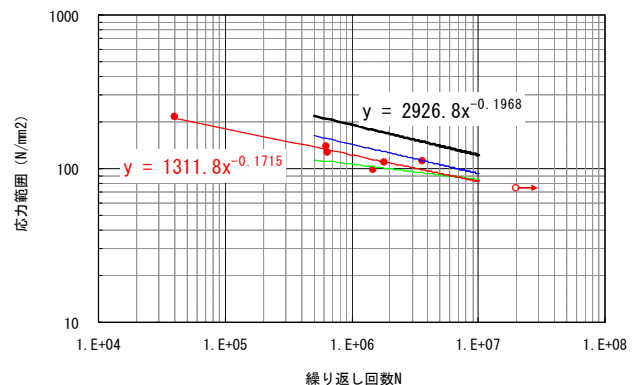


図 7 アルミ合金鋳物製伸縮装置 KMA II の S-N 線

全てフェイスプレート根元から破断したことから、この S-N 線 (—: 赤) はその位置でのジョイント表面に発生する応力と破断に至る载荷回数の関係を示している。また同図上には比較対象として、従来型 KMA 開発時に使用または作成した S-N 線を併せて記載した。

(—: 青) は従来型 KMA の疲労試験の S-N 線で、これは KMA II の破断位置がフェイスプレート根元であるのに対して、従来型の破断位置はフェイスと孔あきジベルの間の隅角部が主体であるため、断面や構造が異なる。

(—: 緑) はボルト定着タイプのアルミ合金製伸縮装置であり、その破断位置が KMA II 同様にフェイスプレート根元であるが、その化学成分については従来型 KMA および KMA II とは異なる。

(一：黒)はアルミ合金材料 AC4C-T6 の金型(伸縮装置は砂型鑄肌)試験片の回転曲げ疲労試験の S-N 線⁷⁾である。応力性状が異なるが、平面曲げと回転曲げは、その S-N 線が近似している⁸⁾。また試験片であるため、KMA II とは断面、鑄肌が異なる。

これらより、同じアルミ合金鑄物であっても、その化学成分や破断位置の構造が異なると S-N 線が異なることが再確認できた。また KMA II の S-N 線を評価するため、比較が容易な(黒：金型試験片)と比べると、両者の傾きは同程度であることから、今回得られた S-N 線が AC4CH の疲労特性を表していると言える。また疲労強度の大きさは、明確な疲労限の無いアルミで一般的に疲労限として扱う 1 000 万回の疲労強度では(黒：金型試験片)は $Y=2926.8 \times (1000 \text{ 万回})^{-0.1968} = 122.7 \text{ N/mm}^2$ で(一：KMA II)は 82.7 N/mm^2 となる。

また、回転曲げは両振れ、KMA II の平面曲げは片振れであるため修正グッドマン線で疲労強度を補正すると、

$$\sigma_a = \sigma_w \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_B} \right) = 122.7 \left(1 - \frac{61.35}{300} \right) = 97.6 \text{ N/mm}^2$$

さらに両者間の条件の違いを埋めるために一般的に疲労強度は引張強さの 50~60%と言われることから、その引張強さと比例関係にあると考え、JIS H 5202 の引張強さに関する規格を利用して補正すると、

- ① 鑄物本体から採取した試験片は引張強度が規格値の 75%以上あれば良い。
 - ② 金型試験片 AC4C の引張強さは 230 N/mm^2 以上、一方砂型試験片 AC4CH の引張強さは 230 N/mm^2 以上である。
- ①②より $97.6 \times 0.75 (230/230) = 73.2 \text{ N/mm}^2 < 82.7 \text{ N/mm}^2$ となり、KMA II 本体の疲労強度の大きさは材質的にも十分であると言える。

以上より、今回得られた S-N 線は KMA II (AC4CH-T6, 砂型鑄肌、フェイスプレートからの曲げによる破断)に関して、十分な信頼性があると言える。

(3) 疲労試験の考察

疲労試験の結果、KMA II -160 については設計荷重で 2 000 万回の耐久性があることが確認できた。そこで、その他のタイプの耐久性についても考察する。信頼性があると判断した KMA II の S-N 線で 1 000 万回の繰り返し載荷に耐える発生応力は前述の通り 82.7 N/mm^2 以下である。ここで各タイプのフェイスプレート根元の設計曲げ応力および最大発生応力は表 4 の通りである。

表 4 各タイプの根元の設計曲げ応力および設計荷重載荷時の最大発生応力

タイプ	KMA II -60	KMA II -80	KMA II -110	KMA II -160	KMA II -230	KMA II -320
設計応力(N/mm ²)	57.8	74.6	79.0	76.2	78.1	66.4
最大発生応(N/mm ²)	-	-	-	74.1	72.3	62.2

設計荷重載荷時の最大発生応力が設計計算による応力より小さいこと、設計応力が 82.7 N/mm^2 以下であるため、全てのタイプについて設計荷重で 1 000 万回程度の耐久性はあると言える。また表 2 の KMA II -160(1)の 2 000 万回以上の耐久性から判断して、この時の発生応力 74.1 N/mm^2 に対して計測値のある KMA II -230 と 320 の発生応力は各々 72.3 N/mm^2 、 62.2 N/mm^2 であることから、両者についても 2 000 万回の実試験をした KMA II -160 と同程度の疲労耐久性を有すると言える。

5. まとめ

今回、伸縮装置本体とその定着構造の改良を試み、静的載荷試験と疲労試験により改良前と同様に設計荷重に対して十分な耐荷力・耐久性を有していることを確認した。その後、販売を開始し 2012 年 8 月現在では 790m を超える納入実績となり、これらの取替に要する作業時間などから「施工性」の向上を確認している。KMA II は、これからの維持管理時代に向けて、適用性の拡大が期待されると考える。

6. おわりに

橋梁の付属物として扱われてきた伸縮装置は近年、経済性重視から性能重視へと顧客の要求も変化してきている。そのため今後も伸縮装置の改良・改善に努める必要があると考える。

最後に KMA ジョイントの改良にあたり、ご指導とご協力をいただいた関係各位には、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡辺, 永井, 金野, 中西, 依田, 山内: 孔あきジベルを用いたアルミ合金鑄物製伸縮装置に関する基礎的実験, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 2003. 9.
- 2) 中西, 依田, 渡辺, 吉田: 孔あきジベルを用いたアルミ合金鑄物製伸縮装置に関する数値解析的研究, 土木学会第 31 回関東支部技術研究発表会, 2004. 3.
- 3) 中西, 吉田, 渡辺, 依田: 孔あきジベルを用いたアルミ合金鑄物製伸縮装置に関する実験的研究, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2004. 9.
- 4) 河合, 柳澤, 久保田, 合津, 金澤: 施工性を追求した新型ジョイント「KMA II」, 川田技報 vol. 30, 2011. 1.
- 5) 東日本・中日本・西日本高速道路(株): 設計要領第二集橋梁建設編, 2011. 7.
- 6) (社)日本アルミニウム協会: アルミニウムハンドブック, 2007.
- 7) 日本軽金属(株): AC4C-T6 金型鑄物の疲労 S-N 線図, 2003. 2.
- 8) 公江, 中村, 恒成, 岡田: 曲げ疲労強度と引張圧縮疲労強度の関係, 「材料」第 32 巻第 356 号, 1983. 5.