

論文・報告

シーベックジョイントの健全度調査報告

～旧富山大橋で 20 年間供用されたアルミ合金製伸縮装置～

The Soundness of an Aged Expansion Joint

長谷川 真司 *1
Shinji HASEGAWA

砂土居 美治 *2
Yoshiharu SUNADOI

木下 正彦 *3
Masahiko KINOSHITA

坂本 哲史 *4
Tetsushi SAKAMOTO

川原 千尋 *5
Chihiro KAWAHARA

現在撤去工事の進む旧富山大橋において約 20 年間供用された(株)橋梁メンテナンス製のアルミ合金製伸縮装置「シーベックジョイント Wd 型」を後打ちコンクリートと一体で採取する機会を得た。そこで今後の改善・改良に役立てるため、20 年間供用された伸縮装置の健全度を調査した。本文では、その調査内容と結果について報告する。

キーワード：伸縮装置，アルミ合金鋳物，健全度，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、劣化機構などの研究は主部材に比べ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、今まで求められた経済性重視から、耐久性・環境性に優れた伸縮装置へと要求される性能も変化している。

そこで、我々がかねてより、耐候性や耐久性、環境性に優れたアルミニウム合金鋳物製の伸縮装置「シーベックジョイント Wd 型」¹⁾を約 27 年前の 1986 年 10 月より販売開始し、1993 年の車両制限令改訂に伴う「シーベックジョイント Wj 型」への移行、さらに 2003 年 9 月には施工性を向上させた「KMA ジョイント」の販売を開始し、その後要求される条件の変化に伴うマイナーチェンジを繰り返し、現在に至る。

耐久性については、実体モデルによる疲労試験を行い、最大発生応力を疲労限界以下となるよう設計することで、耐久性に優れた伸縮装置と認識されている。

しかし、実橋において供用される伸縮装置と既往の実

体モデルの伸縮装置では、施工条件や荷重条件、および環境条件などが異なるため、これまでの実験結果では発注者の求める条件はクリアするが、更なる性能向上においては課題であると考えていた。このような課題を解決していくためには実際に供用されている伸縮装置において調査・実験を行うことが望まれたが、長期間供用された伸縮装置を得ることはこれまで非常に困難であった。

このような中、2006 年より架替え工事が続いていた富山大橋が、2012 年 3 月に供用開始された。それに伴い撤去工事の始まった旧富山大橋より実橋において供用されていた伸縮装置を採取する機会を得た。旧富山大橋において採取した伸縮装置は「シーベックジョイント」の Wd-60（許容伸縮量 50mm）で、1992 年 1 月に既設伸縮装置からの取替で設置されており、旧富山大橋の閉鎖までの 20 年余り供用されていた。



写真 1 床版撤去前の旧富山大橋

*1 (株)橋梁メンテナンス技術営業部技術課

*2 (株)橋梁メンテナンス南砺工場生産管理課 課長

*3 (株)橋梁メンテナンス技術営業部技術課 課長

*4 (株)橋梁メンテナンス技術営業部技術営業課

*5 (株)橋梁メンテナンス技術営業部 部長

本文では、健全度調査のうち、床版コンクリートとの定着構造である PC 鋼棒の残留緊張力、伸縮装置本体の外観、後打ちコンクリートの損傷状況、疲労試験の結果について報告する。

2. 試験体について

(1) 伸縮装置の仕様

採取した伸縮装置の仕様は図 1 に示す通りである。

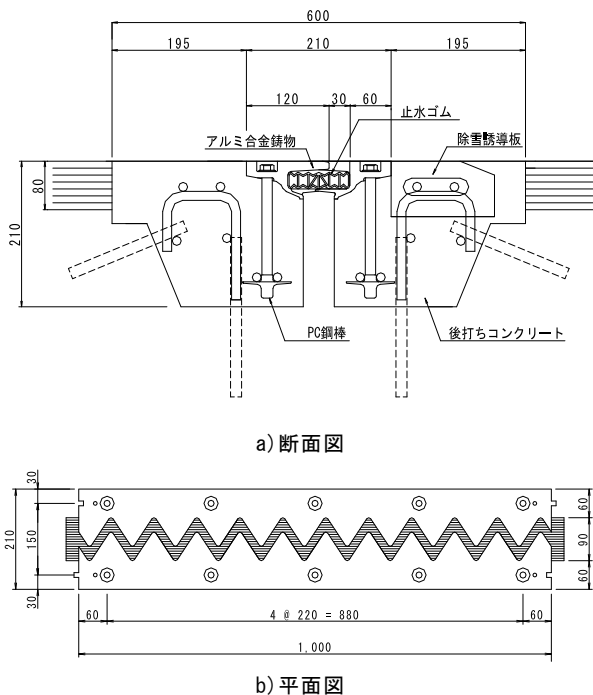


図 1 シーベックジョイント Wd-60 の構造図

(2) 採取箇所

試験体は写真 2 に示すように、旧富山大橋（下り線）の EJ-11 より 2m 分を、後打ちコンクリートと伸縮装置本体の定着を切らぬよう、コンクリートカッターにより採取した。



写真 2 伸縮装置採取状況

3. PC 鋼棒の残留緊張力

(1) PC 鋼棒の緊張力

シーベックジョイントにおける床版コンクリートと伸縮装置本体の定着構造は、アンカーとして使用する PC 鋼棒に緊張力（プレストレス力）を加えることで車両通過時にコンクリートや PC 鋼棒に発生する破壊に繋がる有害な応力を生じさせないように努めている。

シーベックジョイント Wd-60 の場合、施工時に導入する緊張力は 63.7kN である。これには後打ちコンクリートの乾燥収縮、クリープ、PC 鋼棒のリラクゼーションによる緊張力の減少分が予め加味されており、シーベックジョイント販売開始時にその妥当性については確認されている¹⁾。

(2) 確認方法

PC 鋼棒に残留する緊張力の計測は、超音波ボルト軸力計（ECM-1）を使用し、緊張力が残った現在のボルト長を計測したのち、PC 鋼棒を緩め緊張力を 0 とした状態で再度ボルト長を計測することで、残留した緊張力によるボルトの伸びから残留緊張力を算出した。計測は図 2 に示すように伸縮装置本体 1m 分（5 本の PC 鋼棒）について行い、No.1～No.5 の順で緩め、その都度各ボルト長を計測することで、締付け時に隣接する PC 鋼棒の緊張力への影響も確認した。

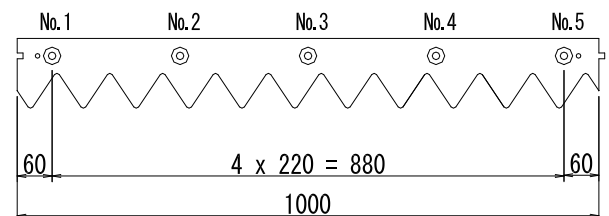


図 2 PC 鋼棒位置図

(3) 計測結果

計測結果は表 1 に示す通りである。

表 1 ボルトの伸び計測結果

STEP	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
当初	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No.1 緩めた後		0.007	-0.001	-0.001	-0.006
No.2 緩めた後			0.007	0.010	-0.003
No.3 緩めた後				0.011	-0.005
No.4 緩めた後					0.002
No.5 緩めた後	-0.260	-0.368	-0.541	-0.390	-0.431

（単位：mm）

これより残留緊張力を算出すると、表 2 の通りとなる。

表 2 残留緊張力

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	平均
残留緊張力 (kN)	29.0	41.1	60.4	43.5	48.1	44.4
残留率 (%)	46	65	95	68	76	70

結果より PC 鋼棒の緊張力は平均 70% 残留していた。また、隣接した PC 鋼棒の緊張力への影響は殆ど無く、締付け順による影響は無いと考えられる。抜き取った PC 鋼棒の外観については、一部表面が腐食している物もあるが微少であり、残留緊張力との関係は確認できない。(写真 4)



写真 3 超音波軸力計によるボルト長計測状況

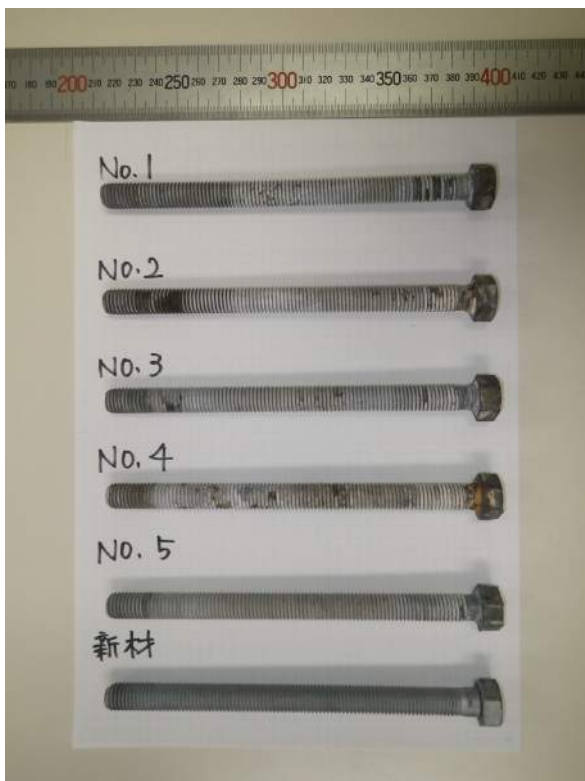


写真 4 抜き取った PC 鋼棒

4. アルミニウム合金鋳物

伸縮装置本体のアルミ合金の外観について確認を行った。表面に亀裂などの異常は認められないが、除雪車が原因であろう細かい傷が多く見られた。また、アルミとコンクリートの境界に隙間は発生していない。(写真 5) PC 鋼棒のざぐり孔に充填したシリコン系のシール材は通行車両による摩耗で損傷している。

アルミ合金の裏面については、多少白錆が発生しているが、表面的なものでアルミ本体に断面欠損は生じておらず、後打ちコンクリートとの付着切れが発生していないことがわかる。また、伸縮装置直下のコンクリートを見ると、未充填箇所や気泡も見られないことから、良い施工が行われたことがわかる。(写真 6)



写真 5 伸縮装置表面の状態

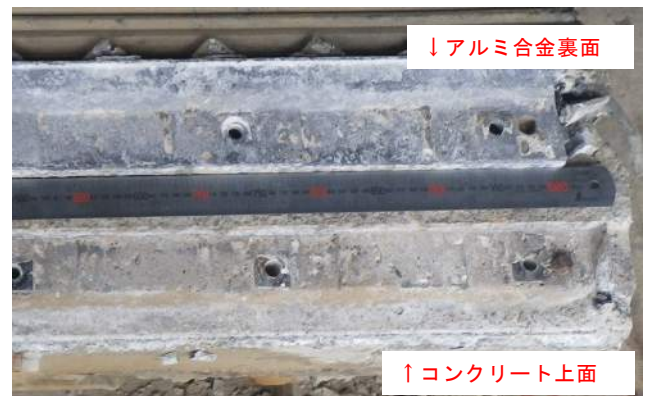


写真 6 伸縮装置裏面と境界面のコンクリートの状態

5. 後打ちコンクリートの健全度

(1) コンクリートの力学的性質

伸縮装置に輪荷重が作用することによる伸縮装置直下コンクリートへの影響を把握する目的で、伸縮装置直下の部位と路面に露出した部位とで圧縮強度を確認した。採取する対象が小さいことから小径コア (Φ25mm) を採用する事でコア数を増やし (図 3)、データのばらつきにつ

いて考慮した。また、コア採取に際しては RC レーダーにより鉄筋探査を実施した。結果は表 3 の通りである。

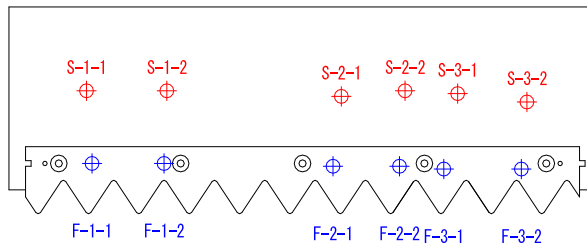


図 3 コア採取箇所

表 3 コンクリートの圧縮強度試験結果

試料No.	圧縮強度	平均
路面	S-1-1	66.0
	S-1-2	50.2
	S-2-1	56.3
	S-2-2	35.6
	S-3-1	41.2
	S-3-2	61.2
伸縮装置直下	F-1-1	57.8
	F-1-2	68.6
	F-2-1	47.1
	F-2-2	57.2
	F-3-1	60.0
	F-3-2	59.5

(単位: N/mm²)



写真 7 試験後のテストピース

使用されたコンクリートは超速硬コンクリートで、設計基準強度は 3 時間で 24N/mm² である。しかし一般的に超速硬コンクリートの 28 日強度は 50~60N/mm² 程度であることから、路面及び伸縮装置直下ともに大きな強度低減は見られない。また、路面と伸縮装置直下を比べると、伸縮装置直下の方が大きな値を示すことから、輪荷重に

よる伸縮装置直下コンクリートの損傷は無いものと考えられる。

(2) コンクリートの化学的性質

橋梁に使用されるコンクリート、特に路面に露出する伸縮装置に使用されるコンクリートは、実交通荷重の繰り返し作用だけでなく、供用される環境からも劣化が進行する。その中でも代表的なものは中性化と塩害であるため、両者について調査を行った。方法としては、中性化は圧縮強度試験に使用するコアを基に路面からの中性化深さ(6 点平均値と最大値)を測定し、塩害については塩化物イオン含有量をドリル法にて 20mm 毎に 100mm 深さまでを分析試料として調査した。結果は表 4, 5, 図 4 の通りである。

表 4 コンクリートコアによる中性化測定結果

試料No.	平均深さ	最大深さ
路面	S-1-1	1.1
	S-1-2	1.8
	S-2-1	0.6
	S-2-2	2.3
	S-3-1	1.3
	S-3-2	1.0
伸縮装置直下	F-1-1	1.5
	F-1-2	0.0
	F-2-1	0.0
	F-2-2	0.5
	F-3-1	0.0
	F-3-2	0.0

(単位: mm)

表 5 塩化物含有量調査結果

試料位置	深さ (mm)	塩化物含有量 (kg/m ³)
路面	0~20	3.7766
	20~40	0.4945
	40~60	0.0920
	60~80	0.0782
	80~100	0.1104
伸縮装置直下	0~20	0.3197
	20~40	0.1656
	40~60	0.1610
	60~80	0.1817
	80~100	0.1679

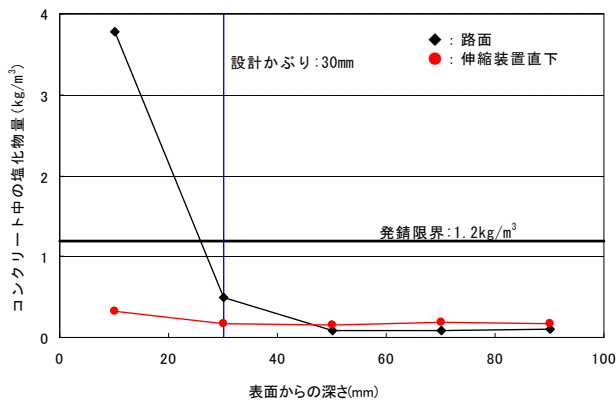


図4 塩化物量分布図

中性化深さの最大値は、路面で 4.0～12.0mm、伸縮装置直下では 0.0～3.0mm と、路面の方が大きい値を示した。これは路面が炭酸ガスや雨水の影響を直接受けることに起因すると推察される。また路面に露出し、直接輪荷重が作用する伸縮装置の後打ちコンクリートでの中性化データが無いため、環境条件についての比較による評価は困難であるが、設計かぶり が 30mm である事を考えると、中性化進行の予測式²⁾

$$y = b\sqrt{t}$$

ここで、 y ：表面からの中性化深さ (mm)， b ：中性化速度係数 (mm/ $\sqrt{\text{年}}$)， t ：時間 (年)

より、20 年で最大 12.0mm 進行する場合の中性化速度係数は

$$b = \frac{y}{\sqrt{t}} = \frac{12}{\sqrt{20}} = 2.683 (\text{mm}/\sqrt{\text{年}})$$

であり、これより表面からの中性化深さが鉄筋表面 (30mm-12mm=18mm) に到達するのに要する時間は

$$t = \left(\frac{y}{b}\right)^2 = \left(\frac{18}{2.683}\right)^2 = 45 (\text{年})$$

となり、環境条件の変化もあるが中性化が鉄筋腐食に及ぼす影響は小さいと言える。

塩化物量調査の結果については、0～40mmの間では路面の方が伸縮装置直下よりも11倍以上の大きな値を示している。これは富山県が降雪地域であるため、冬期に路面上に散布する融雪剤の影響を直接受けることが原因であると考えられる。その値としては、0～20mmの範囲では鋼材の腐食発錆限界 (1.2kg/m³) を大きく超えている。しかし、設計かぶり 30mm (20～40mmの平均とすると) では発錆限界の50%以下であることから、今後ひび割れなどが発生しないとすると、直ちに鉄筋の腐食に繋がる状況では無いと言える。また、伸縮装置直下の塩化物含有量が小さいことから、路面排水が伸縮装置とコンクリートの

境界面に殆ど浸入していないと推察される。

6. 疲労試験

(1) 供試体

旧富山大橋に使用されていたシーベックジョイント Wd-60 の残存寿命を推定するために疲労試験を行った。試験体は富山大橋から切り出した 1m 定尺のまま、後打ちコンクリートと伸縮装置本体の定着を保持した状態で加工した。(図5、写真8)

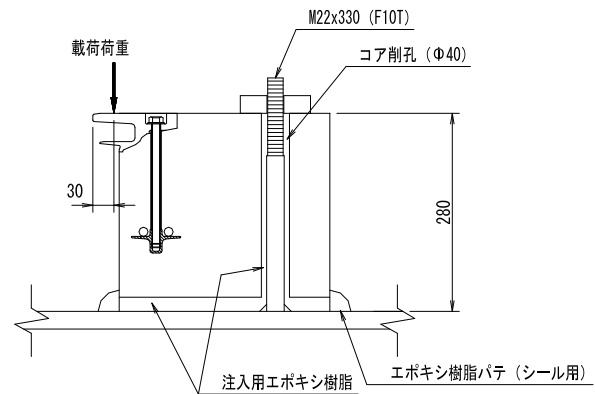


図5 シーベックジョイント Wd-60 疲労試験供試体断面



写真8 シーベックジョイント Wd-60 疲労試験供試体

(2) 設計荷重と載荷荷重

シーベックジョイントの設計では、車両の荷重はタイヤの接地圧として路面や伸縮装置に作用するという考えから、輪荷重をタイヤの平均接地圧に置き換え、フェースプレートに分布荷重として載荷する方法を採用している。ただ、シーベックジョイント Wd-60 販売当時は、車両制限令改訂により道路橋示方書の最大輪荷重が8tから10tに引き上げられた1994年以前であり、最大輪荷重を8tで設計している。ただ、今回の疲労試験では今後どの程度の期間、供用することが可能で有ったかを確認するこ

とを目的としているため、使用する設計荷重は【鉛直荷重 $100\text{kN} \times (1 + \text{衝撃係数 } i:1.0)$ 】を接地面積 $500 \times 200\text{mm}$ の範囲に分布荷重として載荷するものとし、実際の載荷荷重は PC 鋼棒に発生する引張力が、設計荷重載荷時と同等のモーメントとなるように、伸縮装置の先端から 30mm の位置に 63.6kN 載荷した。また、荷重の載荷幅は 500mm とした。

(3) 疲労試験の結果

疲労試験の結果、1 995 135 回でフェースプレートのフィンガー根元より破断した。後打ちコンクリートや PC 鋼棒には異常は見られなかった。

鋼道路橋の疲労設計指針³⁾より、耐用年数を推定するため、一方向一車線当たりの日大型車交通量を算出すると、

断面日交通量：30 000 台/日/断面（富山大橋パンフレット⁴⁾）

一方向当たりの日交通量： $30\,000 \times 0.6$ （上下線の比率を 6:4 と想定）=18 000 台/日/方向

大型車混入率：5.2%（平成 22 年度道路交通センサス⁵⁾より）

一方向当たりの日大型車交通量（ $ADTT$ ）： $18\,000 \times 0.052 = 936$ 台/日/方向

車線数（ n_L ）：片側 1 車線

車線交通量の偏りを考慮するための係数（ γ_L ）：1（1 車線）

$$ADTT_{SLi} = \frac{ADTT}{n_L \times \gamma_L} = \frac{936}{1 \times 1} = 936 \text{ 台/日/方向/車線}$$

となり、推定される耐用年数（ y ）は、

頻度補正係数（ γ_n ）：0.03（標準値）

疲労設計荷重での載荷回数（ n_{ti} ）：1 995 135 回

$$n_{ti} = ADTT_{SLi} \times \gamma_n \times 365 \times y$$

より、

$$y = \frac{n_{ti}}{ADTT_{SLi} \times \gamma_n \times 365} = \frac{1995135}{936 \times 0.03 \times 365} = 194.7 \text{ 年}$$

となる。交通条件の変化もあるが、今後輪荷重だけの影響によって伸縮装置が破壊する可能性は極めて小さかったと言える。

7. まとめ

以上の調査より分かったことを整理すると、

- ① 抜き取った PC 鋼棒は現在のところ大きな腐食は見られず健全であった。また、超音波軸力計を使用した残留緊張力の計測では、平均 30%の軸力抜けがあったが、その後実施した疲労試験では軸力の抜けに起因するような異常は見られなかった。
- ② アルミ合金製の伸縮装置本体と後打ちコンクリートの外観からは、本体に亀裂などは確認されなかった。腐食も少なく、アルミとコンクリート境界面への雨水の浸入も全く無かったと推察される。
- ③ コンクリートの健全度調査からは、調査対象となった富山大橋が降雪地域ではあるが中性化や塩害がコンクリートの劣化に直結する環境では無いことが確認された。また、伸縮装置の荷重伝達により直下のコンクリートが破壊されることも無いと確認された。
- ④ 疲労試験からは、富山大橋のような交通条件では、設計時と荷重条件が違っていることを考慮しても、輪荷重の影響だけで疲労破壊することは極めて小さいと言える。

以上より、設計時よりも想定している輪荷重が 25%増えている現在においても、十分な耐久性が有ると言える。しかし、今後不具合が発生する場合を想定すると、PC 鋼棒が原因となる可能性が高い。そのため、今後は定期的に調査点検を行うと共に、この結果を今後の伸縮装置改善に繋げる必要がある。また、ここで報告した以外にも調査した項目はある。この内容については別の機会があれば報告したい。

8. 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善・改良に努める必要があると考える。

最後に今回の調査機会を与えていただいた富山県をはじめとする関係各位、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) 池辺，富澤，前田，町田，柳澤，寺元：CIPEC ジョイントの耐久性の検討，川田技報 vol. 10，1991. 1.
- 2) (社)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術' 13，2013. 2.
- 3) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002. 3.
- 4) 富山県：富山大橋都市計画道路呉羽町袋線，2012. 3.
- 5) 国土交通省道路局：平成 22 年度道路交通センサス一般交通量調査箇所別基本表