落橋防止用ゴム被覆チェーンの横方向追従性能に関する検討

Study for side direction following performance of Shock-less Chain

ショーボンド建設(株)　○正　員　安東　祐樹(Yuki Andoh)
ショーボンド建設(株)　正　員　船谷　智浩(Tomohiro Funaya)
（独）土木研究所　寒地土木研究所　正　員　今野　久志(Hisashi Konno)
（独）土木研究所　寒地土木研究所　正　員　三田村　浩(Hiroshi Mitamura)

1.　はじめに

橋梁用の落橋防止構造は、地震による橋梁の移動を適性に抑制し、橋梁上部構造の下部構造からの落橋を防ぐことを目的とした装置である。これらの装置には、PCケーブルやチェーンまたは連結板などの構造形式がある。

現行の道路橋示方書 [1)]では、『落橋防止構造には、衝撃的な地震力を緩和するためにゴムパット等の緩衝材を用いた構造を用いなければならない』と規定されている。

また、『地震により橋梁が軸方向のみならず横（直角）方向にも移動する可能性があるため、その移動に際しても追従する必要がある』とも規定している。

しかしながら、これらの装置では橋梁軸方向の移動を主に考案された構造が多く、地震による橋梁の横移動に対する定量的な検証が少ないのも事実である。

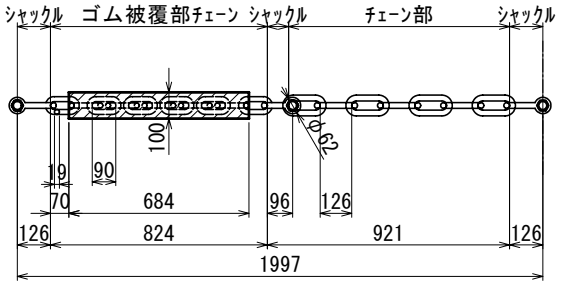
そこで、この度ゴム被覆付きチェーン（以下、緩衝チェーン）を用いて、橋梁の横移動に対する動的な追従性について評価を行った。

2.　実験概要

今回の検証は、地震による動的荷重に対する落橋防止構造の応答性能の評価であることから、衝撃試験を主としながら、静的な横方向の耐荷特性と併せて地震時の横方向追従性能について評価を行った。

2.1　試験体

試験に用いた試験体は、衝撃試験機の能力（最大240kN）から150kN型の緩衝チェーンとした。その仕様を図－1、表－1に示す



図－1　緩衝チェーン構造図　　（単位 mm）

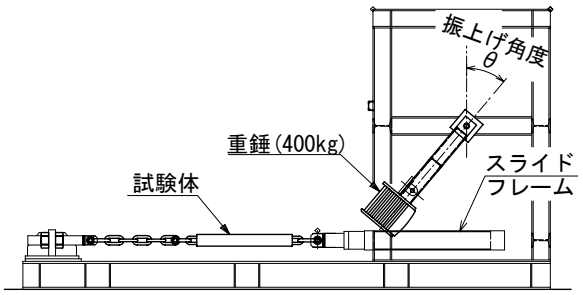
表－1　緩衝チェーンの性能

規格	地震時許容荷重(kN)	引張荷重(kN)	地震時許容伸び(mm)
150kN 型	225	450 以上	195

2.2　試験方法

(1)　衝撃試験概要

今回の衝撃試験に用いた試験機は、図－2 に示す重錘型の衝撃試験機である。本試験機は、試験機の重錘（質量 400kg）を所定の角度まで振り上げ、単振子運動によって図中のスライドフレームに衝突させ試験を行うものである。また、この装置では、重錘の衝突により生じた衝撃荷重と試験体が受けた反力を比較することによって、試験体の衝撃緩和能力を把握することができる。



図－2　衝撃試験機概要図

今回の試験では、地震時の動的応答性能を評価することが肝要なため、重錘の衝突速度を兵庫県南部地震で記録された加速度 810gal（速度 100～150kine）に相当する振上げ角度（θ =30°）とした。さらに、試験体の地震時許容荷重（225kN）に相当する振上げ角度（θ =55°）を作用させる必要もある。そこで試験では、振上げ角度を θ =30° →40° →55° と変化させて行った。表－2 に重錘の振上角度と衝突荷重および速度の関係を示す。

表－2　振上げ角度と衝撃荷重の関係

振上角度 θ （°）	衝突エネルギー Ei （J）	衝突荷重 Pi （kN）	衝突速度 (kine)
30	656.5	152.8	165
40	1146.4	179.2	220
55	2089.5	230.1	280

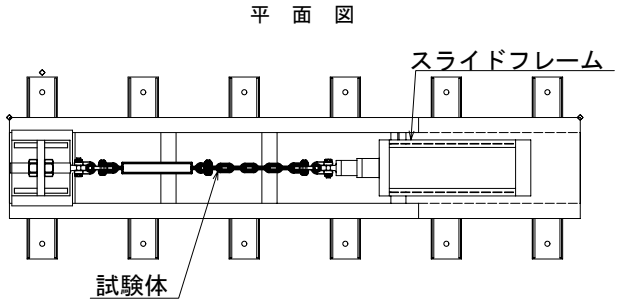
また、本試験機は重錘の質量一定にして、振上げ角度を変化させて衝突荷重に換算しているため、相対的な評価にならざるをえない。そこで、ゴム被覆無しのチェーン（以下、普通チェーン）についても試験を行い緩衝チェーンと比較を行った。さらに、チェーン軸方向（以下、

縦方向）の試験も併せて行った。試験パラメータを表－3 に示す。

表－3　衝撃試験パラメータ

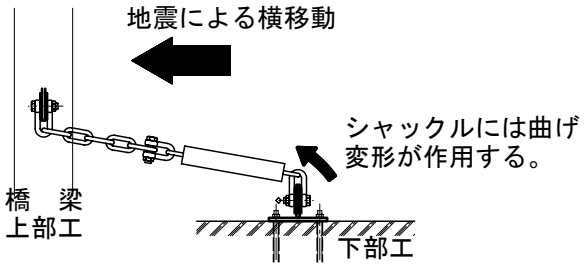
試験体タイプ	振上角度	縦方向	縦方向ねじれ	横方向
普通チェーン	30°	○	○	○
	40°	○	○	○
	55°	○	○	○
緩衝チェーン	30°	○	○	○
	40°	○	○	○
	55°	○	○	○

縦方向（ねじれなし・あり）の試験では、図－3 に示すように、試験体を衝撃試験機の重錘荷重作用方向に対して平行に取り付け、重錘の振上げ角度を変化させて試験を行った。なお、計測項目は、試験体が受けた衝撃荷重（以下、受動荷重）とその時の応答時間である。



図－3　縦方向試験概要図

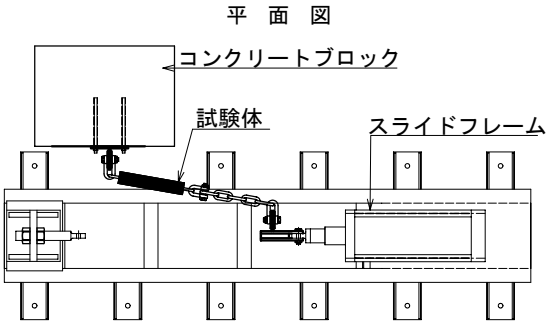
横方向の試験では、図－4 に示すように地震が発生した際、橋梁が横方向に移動した後にチェーンが作用したケースを想定して衝撃試験を行うこととした。



図－4　横方向移動の想定図

試験は、図－5 および写真－1 に示すように実際の橋梁に取り付けられる状態（上部工と下部工側に設置）を想定し、コンクリートブロックを下部構造に見立て、チェーン作用時の角度を 30° と想定した高さに下部工側のブラケットをアンカーボルトにて固定した。

また、天地逆ではあるが、重錘を衝突させるスライドフレーム側を上部工側に見立て、ロードセル先端の止め金具に上部工側のブラケットを取り付けた。そのブラケット間に試験体をセットし、重錘の振上げ角度を変えて試験を行った。なお、計測項目は、受動荷重と応答時間である。

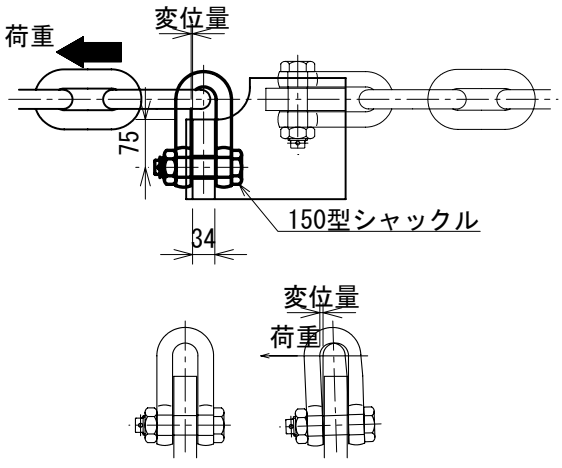


図－5　横方向試験概要図

写真－1　横方向試験状況

(2)　横方向静的試験

橋梁が横方向に移動しチェーンが作用した際には、図－4 に示すように、チェーンとブラケットを連結しているシャックルに曲げが作用することとなる。そこで、図－6 に示すような静的載荷試験を実施し、シャックルの曲げ耐力を評価した。なお、載荷荷重は地震時許容荷重 225kN とし、測定は荷重作用時のシャックルの変形量と除荷後の残留変形量とした。



図－6　シャックル横方向曲げ試験概要図

3.　試験結果

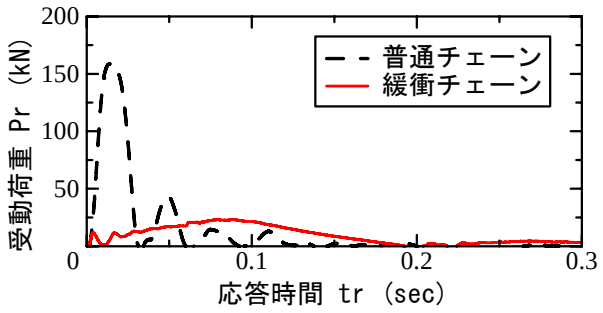
3.1　縦方向ねじれなし

試験結果を表－4 に、振上げ角度 55°時の衝撃応答波形を図－7 に示す。結果より、普通チェーンの場合、衝突直後に荷重が急激に増加し、概ね 0.03sec で波形の収束が見られた。これに対し緩衝チェーンでは、衝突直後に荷重が一旦減少した後に、再度、荷重が緩やかに増加し、概ね 0.19sec で波形が収束した。なお、波形の収束時間は、振上げ角度によらず試験体で一定であった。これらより、普通チェーンと緩衝チェーンとでは、緩衝チェーンの方が最大受動荷重(Pr)で 8 割ほど小さく、応答時間(Pr)は逆に 6 倍程度長くなる結果であった。

表－4　試験結果（縦方向ねじれなし）

	普通チェーン			緩衝チェーン		
θ	30	40	55	30	40	55
Pi	152.8	179.2	230.1	152.8	179.2	230.1
Pr	90.0	117.7	159.0	11.4	15.8	23.2
tr	0.034	0.033	0.031	0.194	0.196	0.193

ここに、θ：重錘振上げ角度(°)
Pi：衝突荷重(kN)
Pr：最大受動荷重(kN)
tr：応答時間(sec)



図－7　衝撃応答波形（縦方向）【θ=55°】

3.2　縦方向ねじれ

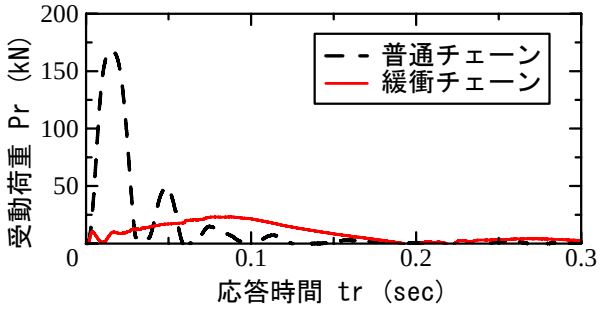
試験結果を表－5 に、振上げ角度 55°時の衝撃応答波形を図－8 に示す。結果より、普通チェーンおよび緩衝チェーンとも縦方向ねじれなしの試験の場合と同様の応答特性を示した。

また、最大受動荷重(Pr)および応答時間(tr)も縦方向ねじれなしの場合と同様の結果を示した。

これらより、チェーンの『ねじれ』は動的性能にほとんど影響を及ぼさないことが分かった。

表－5　試験結果(縦方向ねじれあり)

	普通チェーン			緩衝チェーン		
θ	30	40	55	30	40	55
Pi	152.8	179.2	230.1	152.8	179.2	230.1
Pr	91.8	120.7	168.5	11.2	15.4	23.2
tr	0.033	0.033	0.031	0.192	0.195	0.192



図－8　衝撃応答波形（縦方向ねじれ）【θ=55°】

3.3　横方向

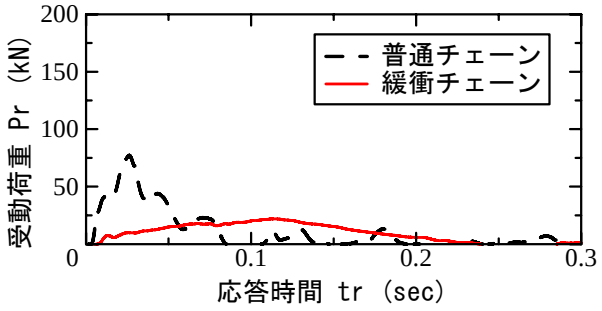
試験結果を表－6 に、振上げ角度 55°時の衝撃応答波形を図－9 に示す。結果より、普通チェーンの場合、縦方向の場合と同様に衝突直後に荷重が急激に増加し、概ね 0.10sec で収束した。ただし、最大受動荷重(Pr)に関しては、縦方向の場合より 5 割程度小さく、応答時間(tr)は逆に 3 倍ほど長くなる結果であった。

緩衝チェーンの場合では、最大受動荷重(Pr)は縦方向と同値であり、応答時間(tr)は 2 割程度横方向の方が長かった。

普通チェーンと緩衝チェーンと比較すると最大受動荷重(Pr)で 3 割程低く、応答時間(tr)は 2 倍ほど長くなっていたが、縦方向の時より両者の差が顕著でなかった。

表－6　試験結果(横方向)

	普通チェーン			緩衝チェーン		
θ	30	40	55	30	40	55
Pi	152.8	179.2	230.1	152.8	179.2	230.1
Pr	39.8	55.6	77.3	10.9	15.2	22.0
tr	0.100	0.093	0.085	0.239	0.235	0.239



図－9　衝撃応答波形（横方向）【θ=55°】

3.4　横方向静的試験結果

結果を表－7 に、地震時設計荷重 225kN 載荷時の状況を写真－2 に示す。結果より，地震時設計荷重が作用した際には，シャックルに曲げが強く作用し，27mm 程変形した。ただし、破断には至らなかったものの、残留変形が 20mm 程残る結果となった。

これに対し，軸方向の静的引張試験では，地震時設計荷重が作用した際，シャックルの変形は 5mm 程度の弾性範囲内にあった。

したがって，チェーンが横方向に引っ張られた場合，

シャックルに曲げが作用するため、耐荷性能が低下する恐れがある。ただし，シャックルの破断荷重は，チェーン部の 1.2 倍以上もあり使用上問題はない。

表－7　試験結果(地震時設計荷重 225kN)

試験方法	変位量 (mm)	備　　考
縦方向	5	
横方向	27	変形が 20mm 程残った。

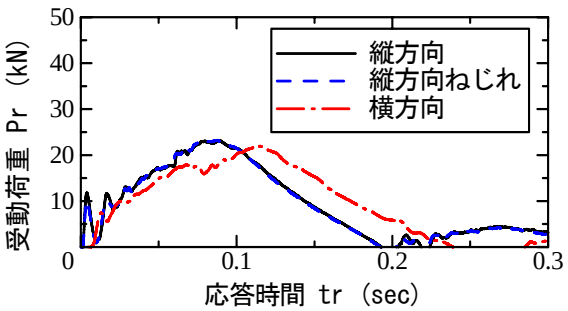
写真－2　シャックル曲げ試験状況

4.　緩衝チェーンの横方向追従性能評価

緩衝チェーンの各方向に対する衝撃試験結果を表－8 に、振上げ角度 55° 時の各方向の応答波形を図－10 に示す。結果より、荷重作用方向が縦方向の場合ではチェーンのねじりの有無に関わらず、最大受動荷重(Pr)および応答時間(tr)とも同等であった。これに対し、横方向の場合では、最大荷重は、縦方向の場合と同等であったが、応答時間が 1.2 倍程長くなる傾向にあった。

表－8　緩衝チェーン試験結果一覧

方向	θ (°)	Pr (kN)	tr (sec)
縦方向	30	11.4	0.194
	40	15.8	0.196
	55	23.2	0.193
縦方向ねじれ	30	11.2	0.192
	40	15.4	0.195
	55	23.2	0.192
横方向	30	10.9	0.239
	40	15.2	0.235
	55	22.0	0.239



図－10　緩衝チェーン衝撃応答波形【θ =55° 】

つぎに、受動荷重と応答時間の関係から、各チェーンの運動変化量を計算した結果を表－9 に示す。結果より、縦方向では、ねじりの有無に関わらず緩衝チェーンの方が 2 割程度低い値を示したが、横方向では同値であった。これは横方向に荷重が作用した際、チェーン部の伸び変形が縦方向よりも大きいため、伸び変形の小さな普通チェーンでは、最大受動荷重(Pr)が見かけ上小さくなる現象が起こったと推察される。

これに対し、緩衝チェーンの場合、ゴム被覆部のように変形が大きな機構が備わっている場合、チェーン部の変形の影響が相殺されてしまうために、最大受動荷重に影響を及ぼさなかったと考えられる。ただし、図－9 に示したように、普通チェーンに比べ最大受動荷重(Pr)が小さく応答時間(tr)が長いことを考えれば、衝撃に対する緩和効果はあると言える。

これらより、緩衝チェーンの横方向に対する衝撃緩和性能は、縦方向と同等と考えられる。

表－9　各タイプの運動変化量一覧

方向	θ (°)	普　通 チェーン T (kN･sec)	緩　衝 チェーン S (kN･sec)	S/T (%)
直方向	30	1.688	1.400	82.9
	40	2.242	1.892	84.4
	55	2.983	2.505	84.0
直方向ねじれ	30	1.741	1.362	78.2
	40	2.303	1.822	79.1
	55	3.079	2.483	80.6
横方向	30	1.676	1.715	102.3
	40	2.222	2.152	96.8
	55	2.764	2.850	103.1

5.　まとめ

縦方向に荷重が作用する場合、緩衝チェーンは、普通チェーンに比べ衝撃緩和性能が 2 割ほど優れていた。チェーンのねじれは、衝撃緩和性能に影響を及ぼさないことが分かった。

横方向に荷重が作用する場合、チェーン部の変形が大きくなるため、相対的に応答時間が長くなった。さらに、普通チェーンでは、チェーンの変形の影響を強く受けるため、見かけ上、受動荷重が小さくなった。これに対し、緩衝チェーンでは、ゴム被覆部の変形が過大なため、受動荷重に変化はなかった。さらに、静的耐力試験の結果、横方向に荷重が作用しても、十分な耐力を有していることが分かった。

今回の検討により、地震時の橋梁の横移動に対する緩衝チェーンの追従性について動的な観点から評価を行うことができた。今後も、さらなる性能評価について検討を行って行きたい。

参考文献

1)　(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編、pp.274、2002.3