

積層ゴム支承におけるゴムと鋼板の接着力評価に関する試験的検討

Experimental Study on Evaluation of Adhesive Strength between Rubber and Steel Plate in Rubber Bearing

(国研) 土木研究所寒地土木研究所 ○正員 寺澤貴裕 (Takahiro TERASAWA)
 正員 佐藤 京 (Takashi SATO)
 正員 畠山 乃 (Osamu HATAKEYAMA)
 (一社) ゴム支承協会 正員 久慈茂樹 (Shigeki KUJI)
 正員 今井 隆 (Takashi IMAI)

1. はじめに

積層ゴム支承は、ゴムと鋼板を交互に積層して加硫接着することにより一体化させた支承であり、ゴム、上下鋼板、内部鋼板によって構成されている。上下鋼板および内部鋼板とゴムを交互に接着することにより、鉛直荷重作用時において、ゴムの側方自由面への膨出を抑制することにより、鉛直方向の耐荷力を増大させている。ゴムと鋼板の接着に関しては、道路橋支承便覧¹⁾において、積層ゴムの耐荷力評価に影響を与えないように、ゴム部の破断よりも先に接着剤の剥離等が起こらないことが前提とされている。また、道路橋示方書 V 耐震設計編²⁾における支承部の耐荷性能の照査として、積層ゴム支承の限界状態³⁾としては、積層ゴムの水平せん断ひずみが 250%を超えないことが規定されている。このことから、積層ゴム支承の変位追従機能に対する機構として、ゴムと鋼板の接着剥離強さには高い信頼性が求められていることが推察される。

ゴムと鋼板の接着剥離強さについては、文献 1) に 90° 剥離強さ (JIS K 6256-2:2013) が示されている。また、接着剥離強さの規格値として、前述した、ゴム部の破断よりも先に接着剤の剥離等が起こらないことに加えて、90° 剥離強さが 7N/mm 以上であることが示されている。ここで 90° 剥離強さとは、写真-1、図-1 および図-2 に示しているように、鋼板の一部分に接着し

たゴム片の片方を引張り、その時の最大剥離力を鋼板幅 ($t=25\text{mm}$) で除した値である。その一方で、地震時におけるゴム支承内部の鋼板とゴムの挙動は、図-3 に示しているように、地震時水平力による上部構造の変位に追従するためゴムがせん断変形する。この時、ゴムと鋼板との界面に発生する応力は、図-1 で示した 90° 剥離試験におけるゴムと鋼板の界面に発生する応力状態とは異なることが推察される。このことから、積層ゴム支承におけるゴムと鋼板の接着力を評価するための最適な試験方法についての検討が必要であると考えられる。

このことから、本研究では、ゴムと鋼板の接着力を評価するための試験方法の試験的検討として、文献 1) で示されている 90° 剥離強さ試験のほか、地震時における積層ゴム支承内部のゴムと鋼板の挙動に近いと考えられる 1 面せん断試験を実施した。ここでは、この試験結果の一部を報告する。

2. 試験概要

表-1 には、試験ケースの一覧を示している。ゴムの材質は、積層ゴム支承に用いられる天然ゴム (材質記号: NR) およびパッド型ゴム支承に用いられるクロロブレンゴム (材質記号: CR) を用いた。ゴムの静的せん断弾性係数は、 0.8N/mm^2 (呼び名: G8)、 1.0N/mm^2 (同: G10)、 1.2N/mm^2 (同: G12)、 1.4N/mm^2 (同: G14) の 4 水準とした。

2.1 90° 剥離強さ試験

90° 剥離強さは、JIS K 6256-2:2013 に準拠し、写真-1 および図-1 に示した载荷治具を用いて行った。試験



写真-1 90°剥離試験状況

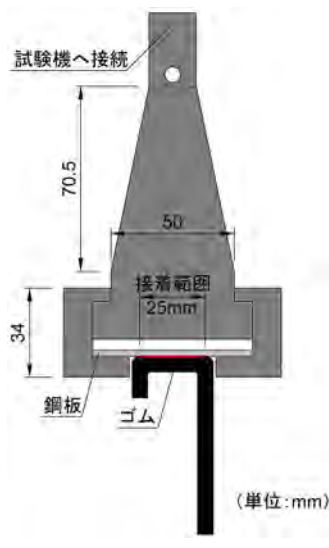


図-1 90°剥離試験治具

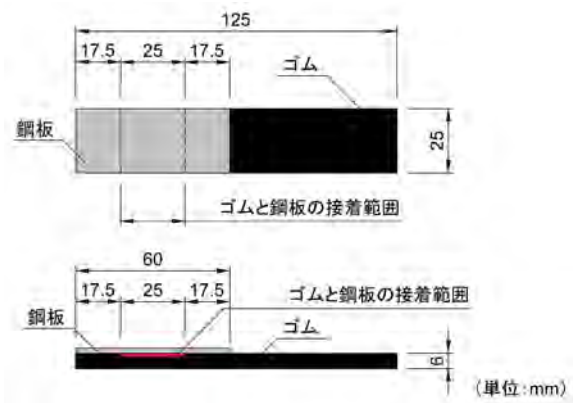


図-2 90°剥離試験体

体形状は、図-2に示した通りである。試験は、万能試験機を用い、ゴムを加硫接着した鋼板を掴む上方治具を引張側、ゴム端部を掴む下方治具を固定側として実施した。計測項目は、試験力と上方治具の変位量である。試験ケースは、表-1に示した通り、7 ケースである。各試験ケースに対して試験体数は 12 本とした。全試験体数は 84 体である。

2.2 1面せん断試験

1面せん断試験は、写真-2および図-4に示す載荷治具および試験体を用いて行った。試験体は、厚さ6mmのゴムの両面に厚さ12mmの鋼板を加硫接着したものである。なお、加硫接着時のゴムのはみ出しによる鋼板端部への付着が試験結果に与える影響を回避する目的で、ゴムは鋼板端部から5mm離れた位置に接着している。鋼板を引張試験用治具を介して試験装置にセットし、下側治具を固定、上側治具を引張側としてゴムにせん断変形を与えた。計測項目は、試験力と上方治具の変位量である。1面せん断試験は、天然ゴムおよびクロロプレンゴムの静的せん断弾性係数の呼び名G12に対してのみ行った。試験ケースは、表-1に示した通り、NR-G12とCR-G12の2ケースである。各試験ケースに対して試験体数は10本とした。全試験体数は20体である。

3. 試験結果

本章では、本研究で行った試験のうち、結果の一部を示す。また、図中に示す試験体名は、ゴムの材質記号-静的せん断弾性係数の呼び名の順で示した試験ケース記号の後ろに試験体番号を括弧書きで付記して示している。例えば、試験体名：NR-G12(2)は、ゴム材質が天然ゴム、静的せん断弾性係数の呼び名：G12の2体目の試験体である。

3.1 90°剥離試験

写真-4には、試験ケースNR-G12およびCR-G12の90°剥離試験後の試験体を示している。ゴムと鋼板が接着されていた部分に着目すると、すべての試験体において、鋼板にはゴムが付着していることが確認できる。このことから、試験ケースNR-G12、CR-G12ともに、試験体の破壊形態は、接着部の剥離ではなく、ゴム破断によるものであることが確認できる。また、試験後の試験体の観察から、鋼板側に残った接着部の端部でもゴムの剥離は確認することはできなかった。

写真-5には、ゴム破断面の性状を示している。写真-5(a)に示した試験ケースNR-G12の場合は、小さな凹凸が破断面全面にできているのに対して、写真-5(b)に示している試験ケースCR-G12の場合は、破断面は比較的滑らかであることが確認できる。

図-6には、試験ケースNR-G12およびCR-G12の90°剥離強さ試験における試験力-変位関係の一例として、それぞれ2体目、4体目、6体目の結果を示している。なお、ここで示した変位は、ゴムを加硫接着した鋼板を掴む上方治具側の変位量である。図より、最大試験力は、NR-G12の場合で概ね700N程度、CR-G12の場合で400~500N程度であった。NR-G12の場合、最大試験力付近で試験力が小刻みに低下している様子が確認できる。こ

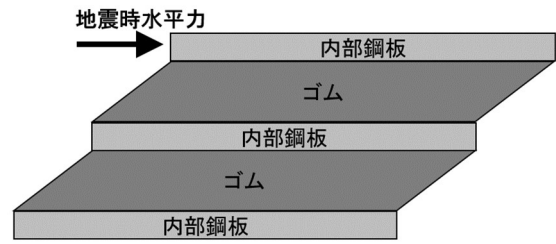


図-3 地震時におけるゴム支承内部の挙動

表-1 試験ケース一覧

試験ケース記号	ゴム材質	静的せん断弾性係数 (N/mm ²)	90°剥離試験	1面せん断試験
NR-G8	NR	0.8	○	—
NR-G10		1.0	○	—
NR-G12		1.2	○	○
NR-G14		1.4	○	—
CR-G8	CR	0.8	○	—
CR-G10		1.0	○	—
CR-G12		1.2	○	○

ゴム材質記号 NR：天然ゴム、CR：クロロプレンゴム

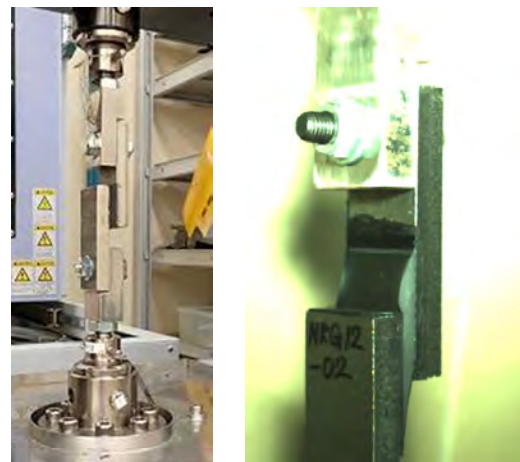


写真-2 1面せん断試験状況

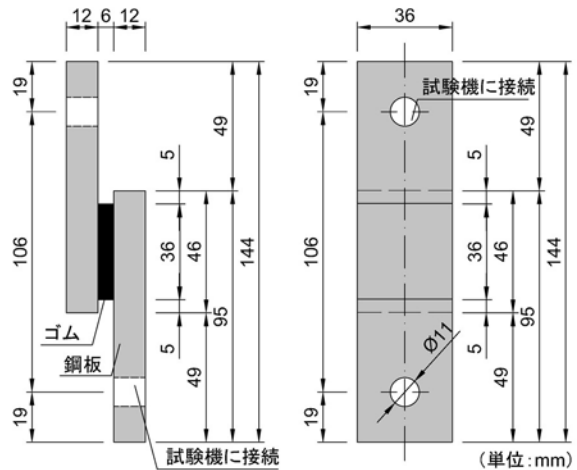


図-4 1面せん断試験体

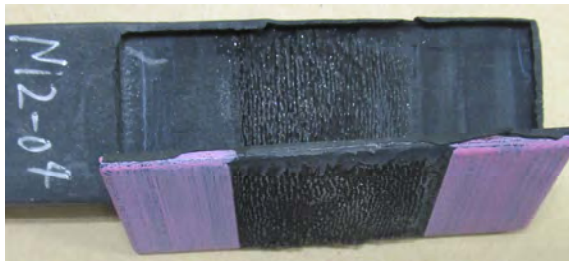


(a) NR-G12



(b) CR-G12

写真-4 90°剥離試験後の試験体

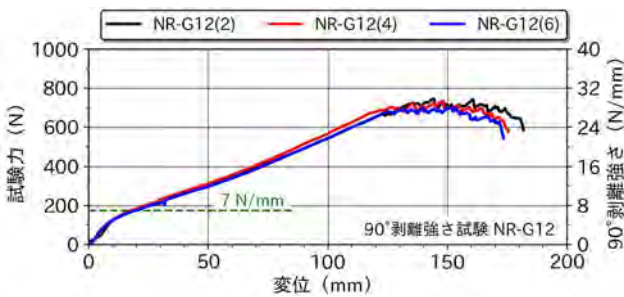


(a) NR-G12 (4)

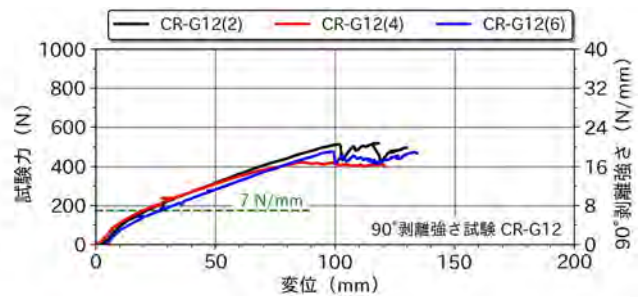


(b) CR-G12 (4)

写真-5 破壊面の状況



(a) NR-G12



(b) CR-G12

図-6 試験力-変位関係 (90° 剥離試験)

これは、写真-5に示した破断面の状況から、ゴムの破断が生じると作用力が一時的に開放され、抵抗面の破断荷重に至るまで試験力が上昇することが繰り返されるためであると推察される。一方、CR-G12の場合には、最大試験力付近での試験力の小刻みな低下はなく、NR-G12の場合と比較して最大試験力付近での試験力の低下が大きいことが確認できる。このことから、天然ゴムとクロロプレンゴムではゴム破断時の挙動が異なることが推察される。最大試験力を鋼板幅 25mm で除した 90° 剥離強さは、NR-G12 の場合で 28N/mm 程度、CR-G12 の場合で、16~20N/mm 程度であった。しかしながら、前述したように、試験体の破壊はゴム部の破断であり、90° 剥離強さが 7N/mm 以上であることは確認できたものの、

接着部の強さを確認することはできなかった。

3.2 1面せん断試験

写真-6には、試験ケース NR-G12 および CR-G12 の 1面せん断試験後の試験体を示している。写真-4で示した 90°剥離試験の場合と同様に、すべての試験体においてゴム部が破断していることが確認できる。また、試験後の試験体の観察から、鋼板側に残ったゴム端部においてもゴムの剥離は確認することはできなかった。

図-7には、試験ケース NR-G12 および CR-G12 の 1面せん断試験におけるせん断応力-せん断ひずみ関係を示している。ここでは、試験力をゴム試験体の面積 (= 36mm×36mm) で除したものをせん断応力とした。図より、試験ケース NR-G12、CR-G12 とともに、せん断応力

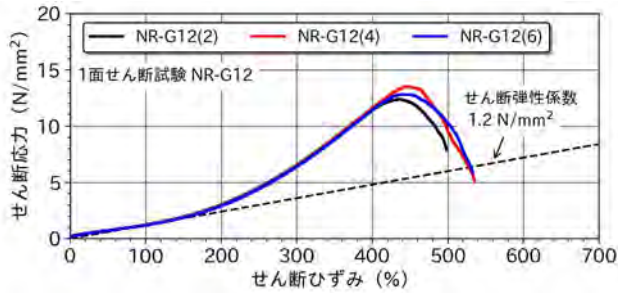


(a) NR-G12

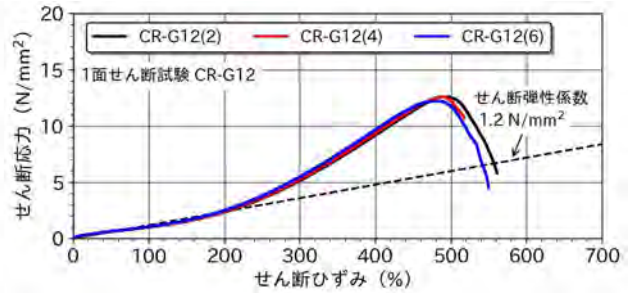


(b) CR-G12

写真-6 1面せん断試験後の試験体

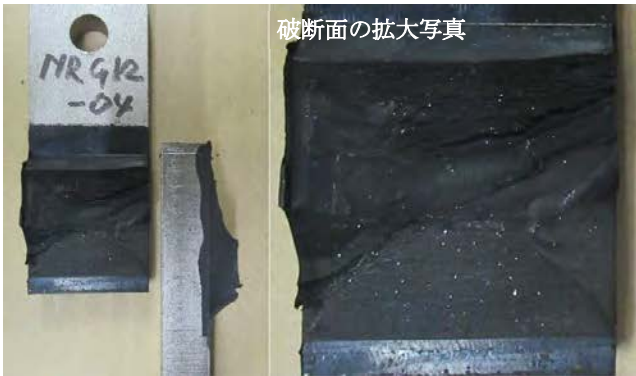


(a) NR-G12

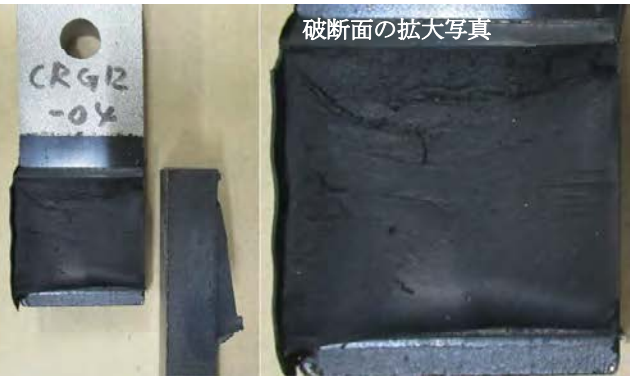


(b) CR-G12

図-7 せん断応力-ひずみ関係 (1面せん断試験)



(a) NR-G12



(b) CR-G12

写真-7 破壊面の状況 (1面せん断試験)

ひずみ関係は、せん断ひずみ 200%程度までは図中黒色破線で示した試験に用いたゴムのせん断弾性係数 1.2N/mm^2 となるせん断応力-せん断ひずみ関係とほぼ一致しており、それ以降顕著にハードニングが生じていることが確認できる。最大せん断応力は、両ケースともに $12\sim 13\text{N/mm}^2$ 程度であり、その時のせん断ひずみは、試験ケース NR-G12 の場合で約 450%、CR-G12 の場合で約 480%であった。NR-G12 においては、道路橋支承便覧において積層ゴム支承の限界状態 3 として要求されるせん断ひずみ 250%を超えた領域における鋼板に接着したゴムの破壊形態を確認することができた。また、CR-G12 においても、剛板に加硫接着したゴムのせん断変形時の限界状態を確認することができた。

写真-7 には、1 面せん断試験後のゴム破断面の性状を示している。1 面せん断試験の場合、試験ケース NR-G12 の 90° 剥離試験で見られたような破断面の小さな凹凸は確認することができなかった。前述の図-7 に示したせん断応力-せん断ひずみ関係図においても、最大

せん断応力付近での応力の小刻みな低下はないことから、 90° 剥離試験の場合とは違う応力状態でゴムが破断に至っているものと推察される。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 90° 剥離強さ試験では、ゴムと鋼板の 90° 剥離強さは 7N/mm 以上であることは確認できたものの、破壊形態はゴム部の破断であることから、接着部の強さを確認することはできなかった。
- 2) 1面せん断試験では、道路橋支承便覧において積層ゴム支承の限界状態 3 として要求されるせん断ひずみ 250%を超える領域における鋼板に接着したゴムの破壊形態を確認することができた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋支承便覧，2019。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2017。