積層繊維補強ゴムに金属円筒を組み合わせた合成部材の衝撃力緩和性能

明石工業高等専門学校　正会員　○石丸和宏　　シバタ工業（株）正会員　西本安志
神戸大学　　学生会員　松本知香　　岐阜大学　　学生会員　平見樹哉

1. 研究の目的

兵庫県南部地震や新潟県中越地震などの直下地震では，震源が遠方である場合のいわゆる海溝型地震とは異なり，鉛直動の影響を強く受けたと考えられる構造物の破壊現象や物体の跳躍現象，海震現象などが見られた．そこで，直下地震による衝撃的な鉛直動から高架橋の橋脚などの柱状部材を守るための研究として，積層繊維補強ゴム（以後 PRF と呼ぶ）を使用した免震機構の開発をすること等が挙げられる [1)]．しかし，土木構造物を衝撃的な鉛直動から守るためには，この PRF が有効であるが，通常時はそれらの自重を支えるには，ゴムだけでは，鉛直方向の剛性は低い．したがって，本研究では通常時は金属で自重を支え，衝撃的な鉛直動が作用した際には，金属部分は座屈し，PRF でそのエネルギーを吸収することを想定し，PRF に金属円筒を組み合わせた合成部材の重錘落下実験を行いその衝撃力緩和性能を調べる．

2. 合成部材

合成部材としてアルミ円筒の内部に PRF を入れた合成部材（写真 1）を使用した．PRF は，通常のゴムに化学繊維材を埋設したものである．繊維材を 1 枚の布のように平面状に加工し，その両面にゴムを圧着させたものを繊維補強ゴムシートとする．この構造によってゴムの変形を繊維が拘束し，その剛性および破断荷重（耐力）も繊維側の剛性および破断強度が支配的となるため，ゴム単体と比べて高耐力を示す．この繊維補強ゴムシートを積層一体化したものが PRF であり，PRF 構造（Poly Rubber Fiber 構造）と呼ばれている．アルミ円筒のアルミの種類は A6063，高さ 20mm，直径 40mm であり，厚さの変化による特性を調べるため厚さ 0.4mm，0.6mm，0.8mm，1.0mm の 4 種類に分けて作成した．

写真 1　合成部材

3. 実験概要

合成部材に作用させる衝撃力は重錘の自由落下により発生させる．実験概要図を図 1 に示す．

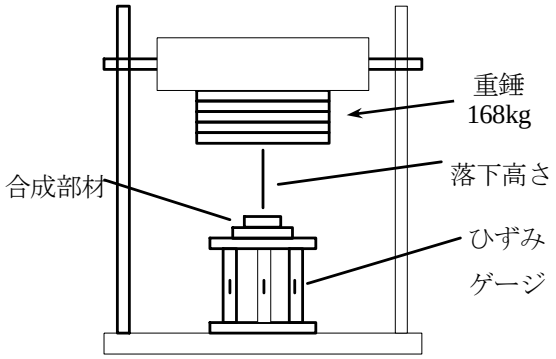

図 1　実験概要図

金属の治具を重錘落下装置下の鉄板上に固定し，重錘を合成部材上に自由落下させた際に治具に作用した荷重（以下，衝撃伝達荷重という）を鋼材（SS400，ヤング率 2.1×10^5（N/mm^2））のひずみを計測することで求める．測定のサンプリングタイムは 20μsec，サンプリング数は 10000 点とした．

合成部材に作用させる衝撃力を計測する際は治具上部には何も設置せず，重錘を落下させることで衝撃力を求める．実験はアルミ円筒厚さ 0.4mm，0.6mm，0.8mm，1.0mm の合成部材に 150mm，200mm，250mm の落下高さに設定し，高さごとに 4 種類の合成部材で 3 個ずつ実験し、計 36 回行う．

4. 実験結果

合成部材の衝撃力緩和性能を調べるために，重錘落下高さ 150mm から 250mm において作用する衝撃力

キーワード　積層繊維補強ゴム，地震，アルミ円筒，重錘落下実験，衝撃力緩和性能
連絡先　〒674-8501　兵庫県明石市魚住町西岡 679-3　明石工業高等専門学校　Tel：078-946-6141

© Japan Society of Civil Engineers

と合成部材を介して治具の円柱ひずみから得られる衝撃伝達荷重を比較した．

まずアルミ円筒の厚さの違いが衝撃伝達荷重に及ぼす影響を調べる．図 2 はアルミ円筒厚さ 0.4mm から 1.0mm のそれぞれの合成部材に 150mm の高さから重錘 168kg を自由落下させた場合における衝撃伝達荷重-時間応答曲線である．この時の衝撃力と衝撃伝達荷重を比較した衝撃力緩和性能はアルミ円筒の厚さが薄い順に 49.9%，48.4%，48.5%，47.7%であった．厚さ 0.4mm と 0.6mm のアルミ円筒は破断し，アルミ円筒の上部が座屈し，下部が少し広がっていた．また 0.8mm，1.0mm は破断しなかったが，0.4mm と 0.6mm と同様に上部が座屈し下部は広がっていた．アルミ円筒が破断した場合には矢印で示すように衝撃伝達荷重が急激に下がる波形であった．円筒上部はいずれも局部座屈していたことから合成部材は一度アルミ円筒が座屈して，PRF でその後衝撃力を吸収することが考えられる．

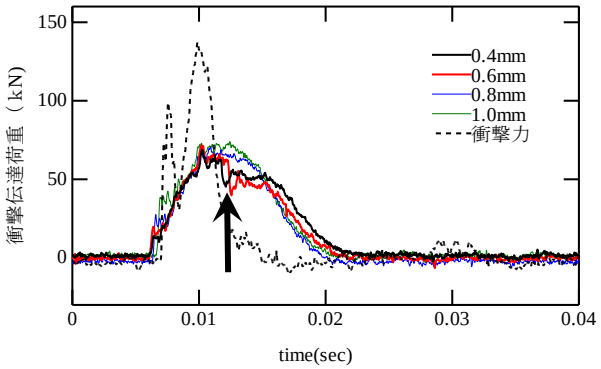

図 2　衝撃伝達荷重-時間応答曲線（高さ 150mm）

落下高さ 200mm の場合のそれぞれの衝撃力緩和性能は 58.2%，57.7%，55.9%，54.2%であった．落下高さ 150mm と比較すると，アルミ円筒の厚さによる緩和性能の差がわずかに大きくなり，厚さが薄いほど高い緩和性能を示している．落下高さ 200mm の場合はアルミ円筒厚さ 0.4mm の時のみ破断した．また落下高さ 250mm の場合も同様にアルミ円筒の厚さが薄いほど高い緩和性能を示していた．

次に，重錘の落下高さの違いが衝撃伝達荷重に及ぼす影響を調べる．図 3 は厚さ 0.4mm の合成部材に異なる重錘落下高さの衝撃伝達荷重-時間応答曲線である．衝撃伝達荷重の最大値は落下高さ 150mm，200mm，250mm の順に 68.8kN，72.3kN，73.2kN である．この結果から落下高さが高くなるほど衝撃伝達荷重が大きくなっている．また，すべての応答曲線において，衝撃伝達荷重が上昇した後降下し，再び上昇しているのは，アルミ円筒の破断で一端降下し，その後すべての衝撃力が PRF に作用するためであると考える．またアルミ円筒厚さが変化しても，落下高さが高

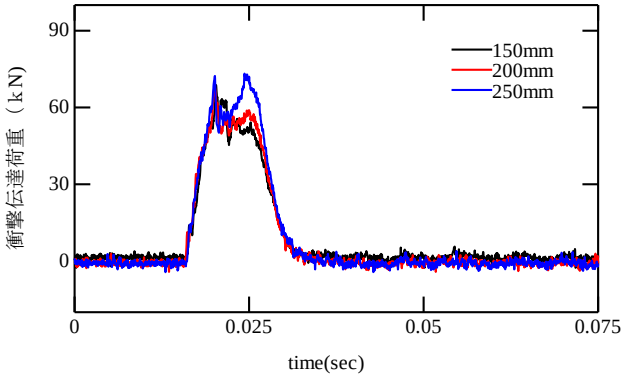

図 3　衝撃伝達荷重-時間応答曲線（厚さ 0.4mm）

くなるほど衝撃伝達荷重が大きくなり，アルミ円筒の座屈の様子も同じになった．衝撃力緩和性能の観点から考えると，落下高さが低いほど緩衝効果は高いことがわかった．

PRF はある範囲の衝撃力が作用すると，内部の繊維が切れることでエネルギーが吸収され，衝撃伝達荷重がほぼ一定になることがわかっている．しかしながら 4 種類のアルミ円筒の厚さの合成部材の衝撃伝達荷重-時間応答曲線から，落下高さが高くなるにつれ，衝撃伝達荷重が大きくなっており，これまでの PRF のみの実験で見られた衝撃伝達荷重が一定になることがなかった．以上のことから合成部材はまだ衝撃吸収能を有すると考えられる．

5.　結論

合成部材は PRF 単体よりより大きな衝撃吸収能を有していることがわかった．

謝辞

本研究は，近畿建設協会研究助成および日工記念財団研究助成を受けたものです．

参考文献

1）松本，水鳥，西本，石丸：重錘落下実験による積層繊維補強ゴムの衝撃力緩和性能，土木学会第 74 回年次学術講演会，土木学会，I-260，2019.9

© Japan Society of Civil Engineers