

積層繊維補強ゴムを用いた鉛直免震部材の静的載荷実験

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
 西日本旅客鉄道（株） 正会員 花段彩華 横浜国立大学 学生会員 ○松原慶悟
 明石工業高等専門学校 学生会員 山本隼一郎

1. 研究の目的

直下地震である兵庫県南部地震や新潟県中越地震では、多くの人々や構造物に被害をもたらした。このとき被害に遭った構造物の中には衝撃的な鉛直方向の力が作用したと考えられる破壊形式が多く見られた。このような大規模な都市直下地震による減災対策として、従来の水平動に対する免震構造に加え、衝撃的な鉛直方向の力を緩和することが必要であると考えられる。

これまで、石丸、西本らは積層繊維補強ゴム（以後PRFと呼ぶ）を用いた免震機構の開発を行ってきた。本実験で取り扱うPRFに金属（アルミ）部材を組み合わせた合成部材は、通常時は金属部材で支持し、衝撃的な鉛直方向の力の入力の際には、まず金属部材が座屈し、その後PRFで衝撃荷重を低減するため、免震構造として有効であると考えられる。そこで、本研究では、合成部材の基本性能を調べるために、PRFをアルミ円筒内部に入れた静的実験を行う。

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荷重を示す。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



写真1 合成部材

径40mmであり、円筒の厚さ t の変化による影響を調べるため厚さ $t=0.4\text{mm}$, 0.6mm , 0.8mm , 1.0mm の4種類に分けて作成した。

3. 実験概要

合成部材の鉛直方向の変位と載荷荷重を把握するため、図1に示すように万能試験機を用いてアルミ円筒、PRFそして合成部材の荷重と変位の計測を行う。

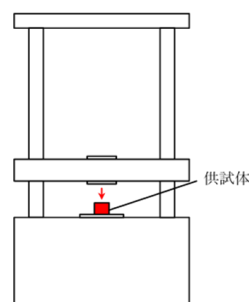


図1 実験概要図

測定のサンプリング数は60,000点、サンプリング周期は20ms（50Hz）に設定。万能試験機の自動変位制御の設定はストローク速度を0.02mm/sec、ストローク上限を15mm、試験力200kNに設定し、実験を行った。

実験はPRFを2個、アルミ円筒厚さ0.4mm、0.6mm、0.8mm、1.0mmを各2個ずつ、アルミ円筒厚さ0.4mm、0.6mm、0.8mm、1.0mmの合成部材各2個ずつ実験を行う。

4. 実験結果

図2はそれぞれ $t=0.4\text{mm}$, 0.6mm , 0.8mm , 1.0mm の場合のP- δ 曲線である。アルミ円筒は複数回局部座屈が生じた。グラフの形はどの厚さにおいても、荷重が上昇し、局部座屈の発生とともに荷重が下がり、その後、再び上昇、異なる箇所でも局部座屈の発生で再び荷重が下落を繰り返している。局部座屈荷重はそれぞれ0.4mmで10.28kN

キーワード 積層繊維補強ゴム、地震、免震機構、合成部材

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

0.6mm で 16.36kN , 16.58kN , 0.8mm で 22.96kN , 22.02kN , 1.0mm でどちらも 29.82kN と座屈強度がアルミ円筒の厚さが大きくなるほど上昇していることがわかる。なお、1カ所目の座屈変形が終了し、再度荷重が上昇している。これは座屈変形の終了に伴い、伸び剛性が上昇したためである。

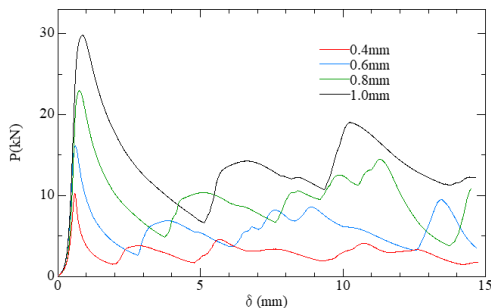


図2 P- δ 曲線 (アルミ円筒)

図3にPRFのP- δ 曲線を示す。①において、荷重が約20kN、変位が約4.9mmの時にPRFの一部の繊維が破断したと思われる音とともに、荷重が急激に低下した。その後も荷重を続けると破断音と同時に荷重が急激に低下するという波形が繰り返された。これは②の点の荷重が65kN、変位が13.5mmの時まで繰り返し起こった。その後、変位が15mmになるまで荷重を続けた。荷重後、破断した部分を観察すると、中の繊維が破断している様子が確認された。しかし破断していない繊維も確認できたため、②の点以降荷重を続けた際も繊維の破断による荷重の低下が確認できると考えられる。

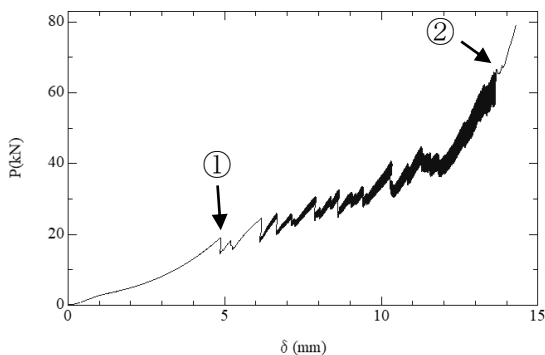


図3 P- δ 曲線 (PRF)

図4は $t=0.4\text{mm}$ の合成部材のP- δ 曲線である。図中①において大きく荷重が低下している。これはアルミ円筒の際のグラフと一致していることから、アルミ円筒の局部座屈が起こったためだと考えられる。また、①の点以降、赤線で示すアルミ円筒のグラフと比べると、荷重が

大きくなっていることから、PRFに対しても荷重がかかり始めていることがわかる。次に、②の部分で荷重が上昇している。これはアルミ円筒の図4における③の箇所から考察すると、アルミ円筒の局部座屈が終了し剛性が上昇したためであると考えることができる。その後、④において荷重の急低下が起きている。これはPRFの繊維の破断が発生したためである。この際PRFの破断音が聞こえた。図4における赤線で示されたアルミ円筒($t=0.4\text{mm}$)のP- δ 曲線によるとアルミ円筒の最大の荷重は10kNであることから荷重10kNまではアルミ円筒とPRFで荷重を支持していたが、座屈したことにより荷重を支持する分担率が変わり、より多くの荷重をPRFが分担するようになった。PRFが力を分担することにより、PRF内の繊維が破断するとともに横方向に広がろうとする。そしてさらなる载荷により、アルミ円筒がPRFの横方向への広がりには耐えられなくなり、アルミ円筒が切れた。その後、PRFのみで荷重を支持したと考えられる。

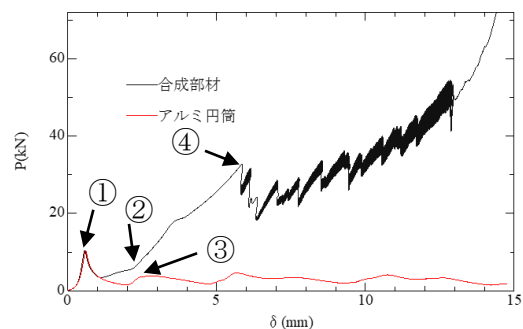


図4 P- δ 曲線 (合成部材 $t=0.4\text{mm}$)

5. 結論

本研究はPRFにアルミ円筒を組み合わせた合成部材に変位制御で荷重を行うことでP- δ 曲線を得ることができた。以下にその結果をまとめる。

- ・アルミ円筒が座屈するまで合成部材はアルミ円筒のみの場合と同様のP- δ 曲線を示す。
- ・アルミ円筒の座屈後、合成部材はアルミ円筒とPRFで荷重を支持するためPRF単体より大きな荷重を示す。
- ・アルミ円筒の破断後、合成部材はPRF単体の場合と同様のP- δ 曲線を示す。

参考文献

- 1) 松本拓実, 水鳥皓平, 西本安志, 石丸和宏: 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