

高エネルギーゴム製耐摩耗保護板の開発について

シバタ工業株式会社 ○西村 佳樹、多良 太作、岡田 至規、渡邊 義正

1. はじめに

砂防施設の摩耗・損傷を防止する目的として、ゴムの弾性による耐摩耗性・耐衝撃性と鋼板の剛性に着目し、これらを複合化させたゴム製の耐摩耗保護板（以下、ラバースチールという）<sup>1)</sup>を1982年に開発し、多くの実績が得られてきた。近年では、大規模崩壊等により流下礫径が大きい環境条件や水叩き部等の落差工（写真-1）にも保護工の設置が望まれており、ラバースチールにおいても、より大きな礫の衝突に耐えるものが求められるようになってきた。そこで、筆者らはラバースチールの耐衝撃性を向上させる手法を検討したので以下に報告する。

2. ラバースチールの構造

ラバースチールは、図-1に示すようにゴムの弾性と鋼板の剛性を複合させた構造で、砂防堰堤水通し天端での事例（写真-2）では厚さ50mmを標準として使用している。使用するゴムは接着層や空隙等がない均一な構造で、鋼板はゴムで完全に被覆され、加硫接着という方法でゴムと強固に一体化させている。また、ラバースチールの固定は、コンクリート内部に埋設されたアンカーボルトと頭部がゴムで被覆一体化（加硫接着）された固定ボルトで行う方法であり、万一損傷した場合でも損傷箇所のみを取り替えて砂防施設全体の機能を維持することが可能である。

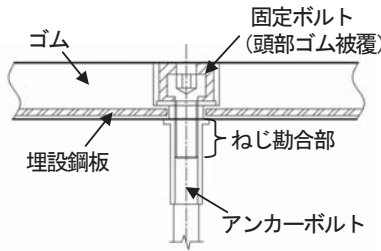


図-1 ラバースチールの構造

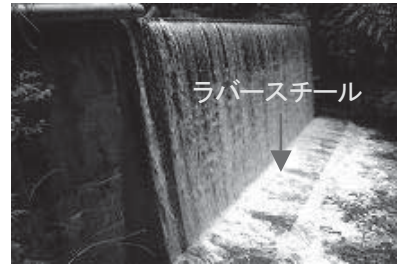


写真-1 水叩き部の設置事例



写真-2 水通し天端の設置事例

図-1に示すようにゴムの弾性と鋼板の剛性を複合させた構造で、砂防堰堤水通し天端での事例（写真-2）では厚さ50mmを標準として使用している。使用するゴムは接着層や空隙等がない均一な構造で、鋼板はゴムで完全に被覆され、加硫接着という方法でゴムと強固に一体化させている。また、ラバースチールの固定は、コンクリート内部に埋設されたアンカーボルトと頭部がゴムで被覆一体化（加硫接着）された固定ボルトで行う方法であり、万一損傷した場合でも損傷箇所のみを取り替えて砂防施設全体の機能を維持することが可能である。

3. 耐衝撃性向上の手法

ラバースチールの耐衝撃性を向上させる手法として、2つ考えられる。1つは、ゴム厚を増加させることにより耐衝撃性を向上させる方法であり、もう1つはゴム素材そのものの耐衝撃性を向上させる方法である。これらのうち、ゴム厚を増加させる方法はコスト増となるため、ここでは、ゴム素材そのものの耐衝撃性を向上させる方法を検討した。その方法として、ゴム素材の硬さを高めることに着目し、以下に静的圧縮実験および重錘落下実験（動的実験）を実施し評価した。

4. 静的圧縮実験

表-1に示す硬度65ゴム（従来タイプ）と硬度75ゴムをもとに硬さを高めた硬度75ゴムで厚さ50mmのラバースチール供試体を作製し、図-2のように先端が直径φ100mmの球形状をした鋼製の载荷体で静的に圧縮した。

表-1 ゴムの材料諸元（参考値）

| 項目   | 硬度65ゴム<br>(従来タイプ) | 硬度75ゴム  |
|------|-------------------|---------|
| 引張強さ | 18.8MPa           | 17.8MPa |
| 伸び   | 570%              | 510%    |
| 硬度   | 65                | 75      |

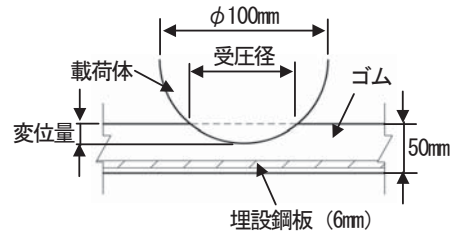


図-2 静的圧縮実験

図-3は圧縮変化率と圧縮荷重との関係を示すが、圧縮変化率が70%を超えると圧縮荷重は立ち上がる傾向は同じであり、硬度の違いによる影響はないものと考えられる。一方、同じ圧縮変化率の時の圧縮荷重を比較すると、硬度75ゴムは硬度65ゴムと比較して約2倍の圧縮荷重を示し、硬度75ゴムは硬度65ゴムの2倍の圧縮荷重に耐えられる耐圧性を有するものと考えられる。

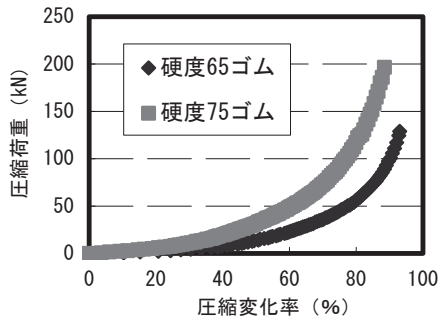


図-3 圧縮変化率と圧縮荷重との関係

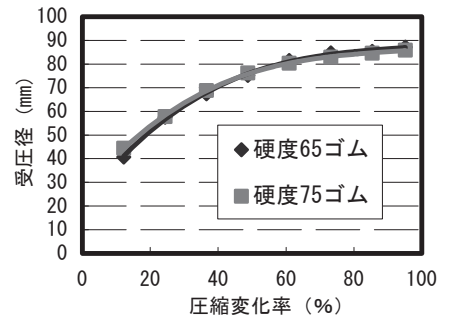


図-4 圧縮変化率と受圧径との関係

図-4は圧縮変化率と受圧径との関係を示すが、圧縮変化率の増加に伴い受圧径も増加し、硬度が異なっても概ね同じ傾向を示している。また、図-3の圧縮特性と同様に圧縮変化率が70%を超えると受圧径は収束する傾向から、圧縮変化率が70%を超えると弾性限界に達するものと考えられる。なお、受圧径が大きく得られる効果は、コンクリートや鋼板等の保護工と異なり衝撃力の分散や緩和効果が期待できるものと考えられる。

## 5. 重錘落下実験

静的圧縮実験と同じ先端が直径φ100mmの球形状をした鋼製の载荷体を取り付けた重錘（質量220kg）を図-5のように自由落下させ、厚さ50mmのラバーsteel供試体に衝突させた。

図-6は重錘の衝突エネルギーと受圧径との関係を示すが、硬度65ゴムでは衝突エネルギー2587N・m、硬度75ゴムでは4312N・mでゴムの中央部に小さい亀裂（以下、損傷という）が見受けられ、硬度75ゴムは硬度65ゴムと比較して約1.6倍の衝突エネルギーに耐える耐衝撃性を示すことが確認された。また、ゴムに損傷が見受けられたときの受圧径は硬度65ゴムより硬度75ゴムのほうが小さい結果から、硬度を高めることにより小さい受圧径（受圧面積）で大きい衝突エネルギーに耐えることができるものと考えられる。

ここで、式(1)から得られる単位面積あたりに作用する衝突エネルギーを受圧エネルギーと定義し、さらに測定した受圧径から図-4で圧縮変化率を推定した。

$$E_s = E_k / A_s \dots (1)$$

ただし、 $E_s$  : 受圧エネルギー (N・m/cm<sup>2</sup>)、 $E_k$  : 衝突エネルギー (N・m)、 $A_s$  : 受圧面積 (cm<sup>2</sup>)

図-7は受圧エネルギーと圧縮変化率との関係を示すが、ゴムに損傷が見受けられない受圧エネルギーは硬度65ゴムで40N・m/cm<sup>2</sup>以下、硬度75ゴムで70N・m/cm<sup>2</sup>以下であり、硬度75ゴムは硬度65ゴムと比較して1.75倍の受圧エネルギーに耐える耐衝撃性を示すことが確認された。また、ゴムに損傷が見受けられる圧縮変化率は70%を超える範囲であり、その範囲がゴムの弾性限界であるものと考えられる。

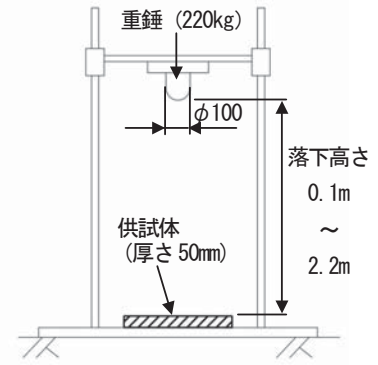


図-5 重錘落下実験

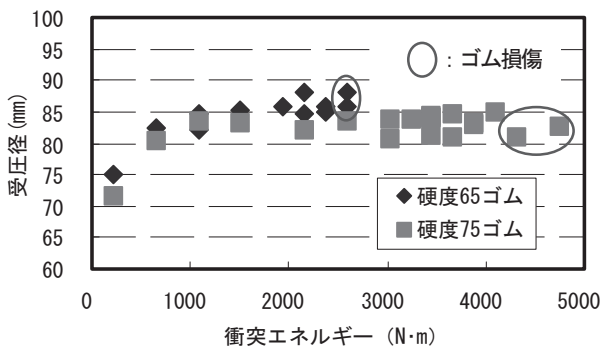


図-6 衝突エネルギーと受圧径との関係

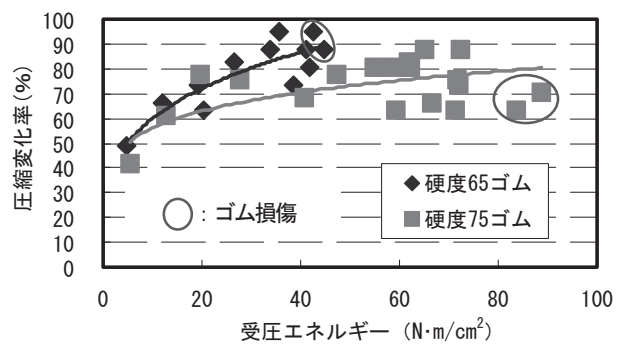


図-7 受圧エネルギーと圧縮変化率との関係

## 6. 礫の衝突に対する適用範囲

以上の結果より、ゴム素材の硬さを高めることで耐衝撃性が向上するものと考えられる。また、実験結果からラバーsteel厚さ50mmに硬度75ゴムを使用した場合の受圧エネルギーの許容値（許容受圧エネルギー）を60N・m/cm<sup>2</sup>とし、許容圧縮変化率を70%とすると、礫径および礫の衝突速度（落下高さ）の条件に対する適用範囲は表-2の太枠内に示す範囲となる。なお、破線の枠内は硬度65ゴム（従来タイプ）の適用範囲であり、破線と太枠内に囲まれた範囲が硬度75ゴムによって拡張された適用範囲で、従来より約30%増となる。

## 7. おわりに

ラバーsteelの耐衝撃性を向上させることにより、流下礫径が大きい環境条件や水叩き部等の落差工にも適用範囲が広がるものと考えられる。また、適用範囲を広げることにより、様々な砂防施設の長寿命化により一層貢献できるものと考えている。

## 参考文献

- 1) 末吉正志ら：持木川における水通し天端保護工の耐久性について  
平成9年度砂防学会研究発表会概要集, P. 328-P. 329

表-2 厚さ50mm 硬度75ゴムの適用範囲

| 落下高さ (m) | 衝突速度 (m/s) | 礫径 (mm) |     |     |     |     |      |
|----------|------------|---------|-----|-----|-----|-----|------|
|          |            | 500     | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| 1.3      | 5          |         |     |     |     |     |      |
| 1.8      | 6          |         |     |     |     |     |      |
| 2.5      | 7          |         |     |     |     |     |      |
| 3.3      | 8          |         |     |     |     |     |      |
| 4.1      | 9          |         |     |     |     |     |      |
| 5.1      | 10         |         |     |     |     |     |      |
| 6.2      | 11         |         |     |     |     |     |      |
| 7.3      | 12         |         |     |     |     |     |      |
| 8.6      | 13         |         |     |     |     |     |      |
| 10.0     | 14         |         |     |     |     |     |      |
| 11.5     | 15         |         |     |     |     |     |      |

(適用範囲)

$$\sigma E_s \geq E_s' \quad E_s' = E_k' / A_s'$$

ただし、 $\sigma E_s$  : 許容受圧エネルギー (60N・m/cm<sup>2</sup>)

$E_s'$  : 礫の受圧エネルギー (N・m/cm<sup>2</sup>)

$E_k'$  : 礫の衝突エネルギー (N・m)

$A_s'$  : 礫の受圧面積 (cm<sup>2</sup>)

礫の密度25.5kN/m<sup>3</sup>、衝突角度90°とした場合を示す。