

## 高知県の活性化のためにロングスパンを全国へ



(株)第一コンサルタンツ  
右城 猛(建設 / 総合技術監理)  
Ushiro Takeshi

### 1. まえがき

経済産業省の「平成 18 年工業統計速報データ」によると、高知県の製造品出荷額等は全国 46 位の 5500 億円である。45 位の鳥取県は高知の約 2 倍の 1 兆 300 億円である。四国では徳島が高知の 3 倍、香川は約 5 倍、愛媛は約 7 倍である。

高知県の人口は、昭和 60 年には 84 万人であったが、少子高齢化による人口減と、若者が仕事を求めて県外へ就職するため人口は毎年減少し、平成 18 年には 79 万人となっている。

一方、高知県の経済活動と雇用を支えてきた建設業は、県内の公共事業がピーク時の 3 分の 1 以下になるなど、極めて厳しい状況におかれている。

平成 19 年 12 月に高知県知事に就任された尾崎正直知事は、官民協働と本県の強みを生かすことで、産業振興を図り、雇用の創出を公約されている。

意外と知られていないことであるが、本県の強みの 1 つに「落石対策技術」がある。現在、県内の企業が集まって開発を進めている新しい落石防護ネット「ロングスパン」を全国に売り込めば、少なく見積もっても 20 億円の売上が期待でき、40 人程度の雇用が創出できる。

本稿では、開発中の落石防護ネット「ロングスパン」について述べる。

### 2. 高知県は落石対策の発祥の地

わが国で落石対策が本格的に行われるようになったのは、「高知国道 56 号落石事件」からである。昭和 38 年に、高知県中土佐町の国道 56 号を走行中の軽トラックを落石が直撃し助手席の同乗者が死亡した事件で、道路管理者の管理瑕疵が最高裁判決で問われた最初の落石事故である。当時の国道 56 号は、安和海岸に沿って走っている

現在の一般県道 320 号久礼須崎線であり、高知県土木部が管理していた。

この落石事件をきっかけに、安和海岸では昭和 40 年から昭和 44 年にかけて大規模な落石対策が行われた。日本初の本格的な落石対策工事であったので、いろいろな工法が考案された。その中の一つに、ミニポケット式ロックネットがある。当時、高知県須崎土木事務所工務課で技師をされていた田中忠夫氏が考案したものである。ミニポケット式ロックネットは、その後、東京製綱(株)によって改良され、現在のポケット式ロックネットになっている。

ポケット式落石防護ネットは、現在では、覆い式落石防護ネットやストーンガードと共に落石防護工の代表的工法となっているが、それには高知市に本社がある田中工業(株)の田中登志夫社長の貢献が大きい。

当初の工事では、4m×4m サイズの金網を人力で持ち上げて斜面上部から設置していたが、田中社長は長尺の金網をレッカーやウインチで巻き上げて施工する手法を考案し、施工能率を飛躍的に向上させた。また、落石防護ネットを地山に確実に固定させるためのロケットアンカーなど各種のアンカーを考案している。

高知県は落石対策の発祥の地であり、落石対策技術の発展に高知県の土木技術者が大きく貢献しているのである。

### 3. 既存の落石防護ネットの問題点

高知県は、地形が急峻で狭隘なことから、ポケット式落石防護ネットが多用されてきた。しかしながら、ポケット式落石防護ネットは、ネットを支える柱の間隔が 3m と狭いため落石の多い沢地形部には設置できない。落石の直撃で支柱が破損

する事故が多い。吸収できる落石エネルギーが50kJ程度と小さい、などの問題を有している。

近年、柱間隔を最大 30m まで広げ、ネットを重くすることで上記の問題点の解決を図ろうとしたポケット式防護ネット(カーテンネット)が東京製網で開発され、施工実績を伸ばしている。

しかしながら、既存のポケット式落石防護ネットは、強度偽装と指摘されかねないような問題を抱えている。

ポケット式落石防護ネットの設計では、可能吸収エネルギー  $E_T$  を次式で算定している。

$$E_T = E_N + E_R + E_L \quad (1)$$

ここに、 $E_N$  は金網の吸収エネルギー、 $E_R$  はワイヤーロープの吸収エネルギー、 $E_L$  は落石がネットに衝突する際に散逸するエネルギーである。 $E_L$  は式(2)で求めるものとしている。

$$E_L = \frac{1}{2} m v_1^2 \frac{M}{m+M} \quad (2)$$

ここに、 $m$  は落石の質量、 $M$  は落石防護ネットの全体の質量、 $v_1$  は衝突前の落石の速度である。

式(2)は、図1に示すように質量  $m$  で速度  $v_1$  の剛体と、質量  $M$  で速度  $V_1=0$  の剛体が衝突した後、2つの剛体が同じ速度、つまり、一体となって運動するものとして誘導されている。

しかしながら落石がネットに衝突すると、ネットは図2のように変形する。ネットが落石と同じ運動をするのは、落石に接触した1点のみである。それ以外の部分は、落石とネットでは速度が同じにならない。式(2)を落石とネットの衝突問題に適用することは運動力学的に不合理である。

落石がネットに衝突し、ネットと接触している間における落石速度とエネルギーの経時的変化を模式的に表すと図3となる。

落石がネットに衝突する直前のエネルギーは、落石の運動エネルギーであり、次式で表される。

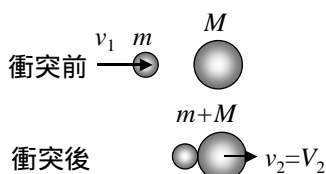


図1 剛体の衝突

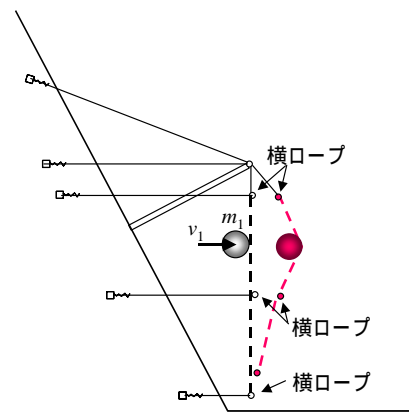


図2 落石の衝突によるネットの変形

落石の速度

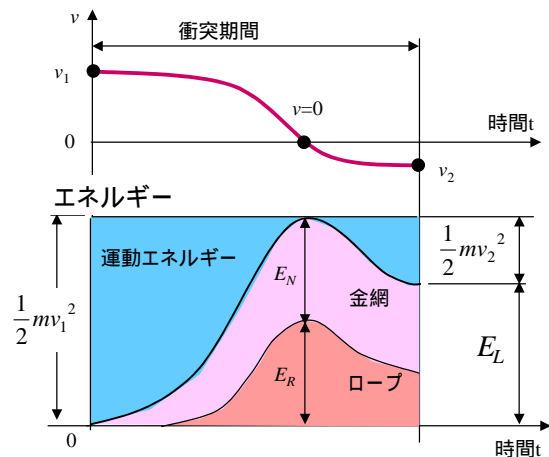


図3 衝突期間中における落石速度とエネルギー

落石がネットに衝突すると、落石の運動エネルギーは、金網とロープの歪みエネルギーに変換される。運動エネルギーの全てが歪みエネルギーに置き換わった時点で、すなわちネットの変形が最大に達した時点で落石は一旦停止する。その時点のエネルギーは次式となる。

$$E_T = E_N + E_R \quad (4)$$

その後、金網とロープの変形の一部は残留変形となるが、それ以外の変形は回復する。つまり、金網とロープに蓄積された歪みエネルギーの一部は残留歪みとなるが、その他の歪みは落石の運動エネルギーとして回復する。その結果、落石は  $v_2$  の速度で跳ね返る。この時点のエネルギーは次式となる。

$$E_T = \frac{1}{2} m v_2^2 + E_L \quad (5)$$

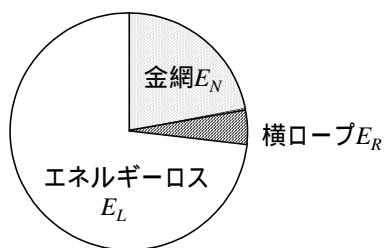


図 4 可能吸収エネルギーの内訳

落石がネットに衝突している期間中、金網とロープが吸収するエネルギーは時々刻々と変化するが、式(1)になることはあり得ない。正しくは式(4)と表記すべきである。式(1)の中の  $E_L$  が期待できないとすると、現行の手法では可能吸収エネルギーを過大に評価していることになる。

全幅 30m、高さ 18m、支柱間隔 3m の標準サイズのポケット式落石防護ネットについて、 $E_L$  が可能吸収エネルギーに占める比率を試算してみた。その結果を図 4 に示す。式(2)で与えられるエネルギーロス  $E_L$  が、全吸収エネルギーの約 3/4 を占めている。実際の可能吸収エネルギーは計算値の 1/4 であり、性能を実際より 4 倍も過大に評価していることになる。

#### 4. 新しい防護ネット・ロングスパンの開発

式(1)を用いて計算すると、ネットの質量  $M$  を大きくするほど散逸するエネルギー  $E_L$  が大きくなり、エネルギー吸収性能を高められることになる。このため、これまでのポケット式落石防護ネットでは、防護ネットの質量を大きくすることに力点が置かれてきた。

しかしながら、質量を大きくしたのでは資材費、運搬費、設置費用が高くなるだけで、実際のエネルギー吸収性能はあまり向上しない。少ない資材で大きなエネルギーを吸収する、つまり経済的パフォーマンスを高めるには、防護ネットが落石を受けとめたときの変形量を大きくするのが賢明である。

落石防護柵の研究開発は、スイスやオーストリア、イタリアなどの国が進んでいるが、リングネット防護柵に見られるように大きく変形させる装置を取り付けてエネルギー吸収性能を高めることが、今や世界の常識になっている。

写真 1 が、筆者らが現在開発を進めている新しい落石防護ネット・ロングスパンである。ロングスパンの原型は、田中工業(株)の田中登志夫社長が考案したものである。平成 18 年の 11 月に、田中社長よりこれを商品化したいという相談を受けた。そのままでは商品価値が少ないと思われたので、エネルギー吸収金具を取り付けることを提案させてもらった。エネルギー吸収金具を取り付ければ、エネルギー吸収性能を飛躍的に向上させ、大幅なコスト縮減を実現できるはずである。

ロングスパンは、ネットを支える柱の間隔を 30m まで広げることができる構造にしておき、その点ではカーテンネットと同じであるが、ワイヤーロープの間隔を通常のポケット式落石防護ネットより広げてネットを軽くしていることと、ワイヤーロープにエネルギー吸収金具を取り付けている点で大きく異なっている。

使用しているエネルギー吸収金具を写真 2 に示す。金沢大学名誉教授の吉田博工学博士が何回もの衝撃載荷試験(写真 3)を繰り返し、試行錯誤の末に完成させたもので、ワイヤーロープの張力が 50kN に達した時点で滑り出してエネルギーを吸収する仕組みになっている。



写真 1 ロングスパンの重錘衝突実験



写真 2 エネルギー吸収金具





写真3 衝撃載荷試験



田中社長と一緒に富山県の吉田先生宅を訪問  
(平成 18 年 12 月 11 日小矢部市の料亭にて)

## 5. ロングスパンの現状と今後の展開

ロングスパンの性能については、平成 20 年 5 月 27 日に公開実験を行って、150 キロジュールの落石エネルギーに耐えられることを確認した。

これ以上に性能を高めるには、一般的な菱形金網では無理で、高強度の金網を使用する必要がある。平成 20 年 10 月 10 日に予定している公開実験では、素線径 3.2mm、素線強度 1,770N/mm<sup>2</sup>の高強度ネットを用い、これに質量 3.5 トンの重錘を 17m/s の速度で衝突させ、500 キロジュールのエネルギーに挑戦する。

現在は、吉田博先生の指導をいただきながら、非線形衝撃応答解析用汎用コード LS-DYNA で解析を行っている。防護ネットの材料特性や境界条件等が適切にモデル化でき、実験結果を精度良く再現できるようになれば、実験と異なった条件で施工した場合でも、解析によって安全性を確実に評価できるようになる。

ロングスパンを他県で使っていただくには、商品の信用と実績が問われる。現在、国土交通省に



公開実験で挨拶をされる愛媛大学の矢田部龍一教授

NETIS(新技術活用促進システム)登録を申請中であり、10 月には登録される見込みである。施工実績については、高知県内の公共事業で皆様に使っていただく以外には手はない。使って問題点があればご指摘をお願いしたい。県外に売り込むには、改良を重ね、品質と価格、技術サービスで日本一にしなければならないと思っている。

## 6. あとがき

実物大規模の落石防護ネットの重錘衝突実験を行ったのは、日本で初めてである。実験には落石等による衝撃問題の世界的権威である金沢大学名誉教授の吉田博先生にご指導いただき、地盤工学会四国支部落石対策研究委員会(代表は愛媛大学の矢田部龍一教授)と愛媛大学防災情報研究センターに協力をしてもらって進めている。

資金面においては、共同研究者の一人である田中工業(株)が、「ロングスパンの研究開発」で高知県の頑張る企業の認定を受け、頑張る企業総合支援事業補助金の交付を受けている。また、愛媛大学の木下尚樹助教と(株)ロイヤルコンサルタントの筒井秀樹社長の共同研究「地震時・豪雨時落石対策ロングスパンポケット式ロックネットの開発」に対して四国建設弘済会から助成金を受けている。関係各位に心より感謝申し上げる。

5 月 27 日の公開実験の際には、大学、官公庁、民間企業から 300 名を超す研究者や技術者が来られた。マスコミからは、高知新聞、愛媛新聞、日経新聞、毎日新聞、読売新聞、建通新聞、NHK、高知さんさんテレビ、テレビ高知、高知放送の取材があり、関心の高さに驚かされた。

ロングスパンが高知県の活性化に貢献できるように精一杯努力する所存である。