

緩衝金具を有する落石防護工の解析手法の簡易化に関する研究

長岡技術科学大学 学生員 山本順也
 長岡技術科学大学 正会員 岩崎英治

1. はじめに

我が国では、地震、気候や地形などの条件から多くの落石災害が発生している。そのため、数多くの落石対策工が施されている。その一種である緩衝金具を有する落石防護網は、落石エネルギーの吸収性能が高い防護工である。しかし、緩衝金具内の滑動ワイヤの余裕長の設定に注意が必要である。これに対して、既往の研究により、動的応答解析で性能評価実験の結果が再現可能であることが示された。しかし、動的応答解析は膨大な解析時間を要する。落石防護網を設計する際の設計式を導くためには、膨大な解析時間が必要となり、解析手法の簡易化が課題となっていた。

そこで、本研究では、解析時間を要する動的応答解析の簡易化を図るため、静的解析により滑り量を再現するための手法を提案する。

2. 解析方法

落石防護網の設計では、ワイヤの余裕長が必要になる。そこで、動的応答解析による緩衝金具内の滑動ワイヤの滑り量を、静的解析により得るための考え方を、図-1 のようなワイヤの一端に緩衝金具を有し、ワイヤの中央に重錘が落下するモデルにより示す。

図-1 (a)のような重錘が落下してワイヤに衝突する動的な応答でのエネルギーの収支を考える。重錘がワイヤに衝突して静止した瞬間のエネルギーを考えると、次式のようなになる。

$$mg(h+v) = F_r\delta + E_d \quad (1)$$

ここで、 m は重錘の質量、 g は重力加速度、 h は重錘からワイヤまでの落下高さ、 v はワイヤに重錘が衝突して静止した瞬間の重錘の沈下量(たわみ)、 F_r は緩衝金具とワイヤの摩擦抵抗力、 δ は緩衝金

具内のワイヤの滑り量である。また、 E_d はその他のエネルギーであり、構造減衰により失われるエネルギーなどにより表される。

次に、図-1 (b)のような緩衝金具を有するワイヤに静的な鉛直荷重 P が作用した時のエネルギーの収支を考える。荷重 P は緩衝金具を有するワイヤの静的平衡方程式の解として、たわみ v の関数として得られる。これより、エネルギーのつり合いは次式のようなになる。

$$\int_0^v P(v)dv = F_r\delta + E_s \quad (2)$$

ここで、 E_s はワイヤの弾性ひずみエネルギーを表しているが、緩衝金具による吸収エネルギーに比べて小さいと考えられることから省略すると、次式が近似的に成立する。

$$\int_0^v P(v)dv = mg(h+v) - E_d \quad (3)$$

E_d は、既往の研究^[1]による動的応答解析の結果から、重錘による作用エネルギーの数%から10数%程度の値であるので、上式を次のように表す。

$$\int_0^v P(v)dv = \kappa mg(h+v) \quad (4)$$

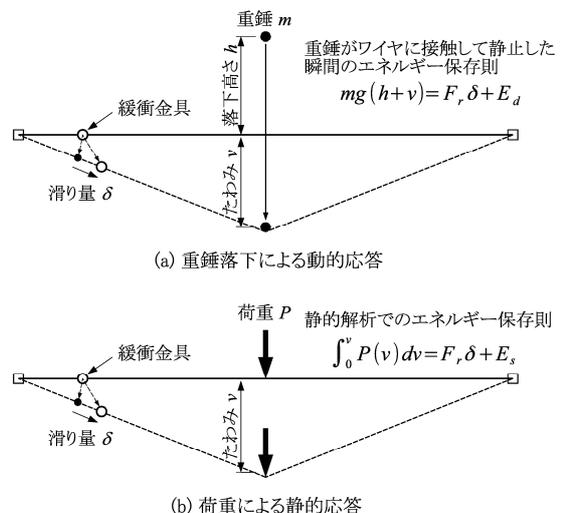


図-1 動的と静的解析でのエネルギーの収支

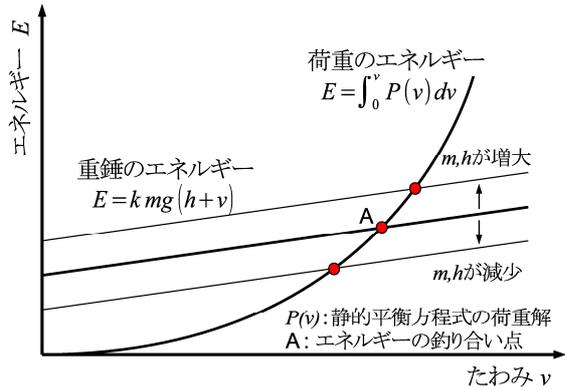


図-2 エネルギー的に等価な解

ここで、 κ は0.9前後の値である。

図-2に、静的平衡方程式の解として得られる荷重 $P(v)$ によるエネルギーと重錘のエネルギーの曲線を示す。これらの曲線の交点Aが動的応答解とエネルギー的に等価な静的解析による解を表す。

構造系が同じであれば、重錘の重量 mg や落下高さ h が異なっても静的な平衡方程式によるエネルギー曲線は変化しない。一方、式(4)の解は、 mg や h が異なると変化する。そこで、一つの構造系について予め静的なエネルギー曲線を求めておくと、種々の重錘質量 m や落下高さ h のときの動的応答解と等価な静的解は、交点として容易に得られる。ただし、重錘の衝突位置が異なると静的なエネルギー曲線は変化する。

3. 静的解析法の妥当性の確認

動的応答解析とのエネルギー的に等価な静的解析により、図-3のような縦横4本のワイヤの両端に合計16個の緩衝金具が配置された落石防護網の中央に重錘が落下したときの各緩衝金具内のワイヤの滑り量と防護網中央のたわみ、および、作用エネルギー、吸収エネルギーを求めて、本研究で提案する解析手法の妥当性を示す。

表-1に落石防護網の動的解析結果および静的解析結果を示す。上下左右対称なため、緩衝金具U1とU2の滑り量のみ示している。滑り量は概ね動的応答解析と静的解析で同様の値が得られ

ており、このために吸収エネルギーもほぼ一致している。一方、たわみは静的解析の方が動的応答解析に比べて大きめの値が得られている。これは、構造減衰等によるエネルギー吸収が静的解析には含まれないためである。

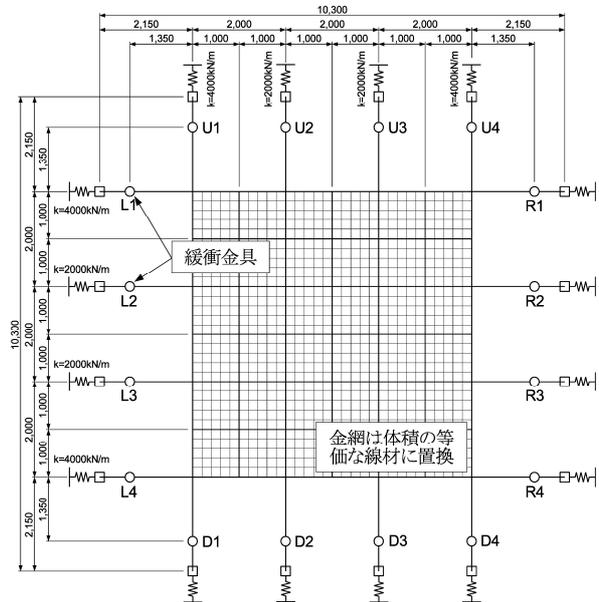


図-3 重錘落下を受ける落石防護網の解析モデル

表-1 解析結果

落下高さ	動的応答解析			静的解析		
	5	10	15	5	10	15
たわみ(m)	2.170	2.857	3.385	2.49	3.165	3.685
U1滑り量(m)	0.103	0.221	0.347	0.098	0.211	0.333
U2滑り量(m)	0.364	0.633	0.882	0.368	0.639	0.889
合計滑り量(m)	3.736	6.824	9.832	3.728	6.800	9.776
作用エネルギー(kJ)	242.1	434.2	620.8	227.9	401.3	568.3
吸収エネルギー(kJ)	205.3	375.2	540.8	205.0	374.0	537.7

4. 結論

従来の動的応答解析とエネルギー的に等価になるような静的解析により、落石防護網の緩衝金具内のワイヤの滑り量の解析手法を簡易化することができた。

参考文献

[1] 岩崎英治, 加規秀二, 向笠正洋: 落石防護工を用いる緩衝金具の開発と性能評価, 構造工学論文集 Vol.57A, pp.75-85, 2011.3.