

土木構造物のモニタリングの経済性に関する検討

東京工業大学大学院 学生員 伊藤裕一

1. まえがき

モニタリングに関する従来の研究は、センサー、システム（遠隔モニタリング等）、個別損傷に対する健全度評価などに関するものが多い。しかし、モニタリングが技術的に成立しても従来の目視を中心とした維持管理に比べコスト競争力が無ければ、一般的に使用されることはない。そこで、コストの面からモニタリングシステムに検討を加え、今後の研究・開発の方向性について検討した。

2. 従来の維持管理のコスト

例として、鉄道の鋼橋（延長500kmで、約1000連を検査）に関する目視検査のコストを表-1に示す。現状の目視検査による変状発見体制を十分であると考えらるならば、この額がモニタリング費用の上限となる。

表-1 鉄道の鉄桁検査コスト(一例)

	検査員1)	検査業務比率2)	1)×2)
構造物検査センター	約30名	50%	15名
保線所(土木社員)	約80名	10%	8名
計 23名			
23名×10百万円/年/1000連+設備費=360千円/年連			

3. モニタリングのコスト

想定するモニタリングのコスト構造を表-2に示す。

(1) 電力

イニシャルコストは、商用電力が直接受電できるか否かで大きく変化する。できない場合、自営電線の敷設か太陽電池等の設置が必要となるが、いずれもコストが大きい。商用電力を用いる場合のランニングコスト（電気料金）を図-1に示す。なお、図-1は一定の条件の下に定額電灯と従量電灯をまとめて示した。

(2) 通信

観測地点で得られた情報は、監視場所まで伝送する必要がある。伝送手段は、表-3に示す通り無線・有線と多様で、情報量によって最適な伝送手段が異なる。通信に関するイニシャルコストは、自営で通信ケーブルを敷設する必要がある場合を除き、何れの手段でも大差ない。観測地点と監視地点の距離及び観測地点の数を変化させ、通信手段別のランニングコスト（通信費）を比較した結果を図-2に示す。現在の料金体系の下では、情報密度情報の密度が大きくなるに従い、一般に①交換回線→②パケット通信（DoPa）→③専用線の順で最適な伝送手段が変化する。波形データ以上の情報量を伝送する場合、専用線の使用が他の手段に比べ経済的となるが、モニタリングの全体許容額を上回り、計測点で判断し通信時の情報量を下げることが検討すべきである。

表-2 モニタリングのコスト

イニシャルコスト	センサ	工事費・材料費
	電力	工事費・材料費
	通信	工事費・材料費
	監視	機器工事費・材料費・ソフトウェア購入・開発費
ランニングコスト	センサ	更新費
	電力	電気料金
	通信	通信料金
	監視	人件費
		機器更新費

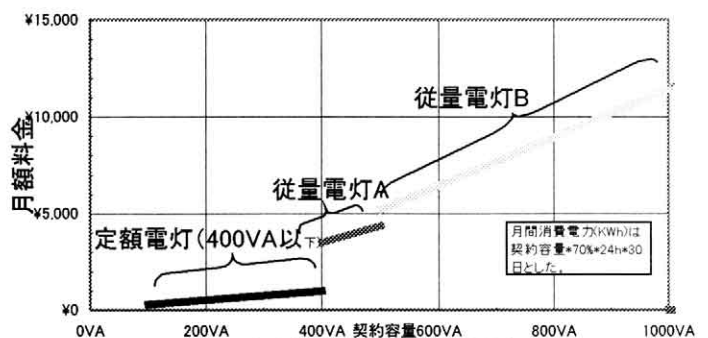
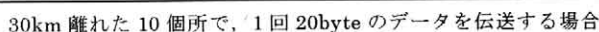


図-1 電力料金の契約種別とコスト

Key Words: Monitoring, bridge, allowable cost, life-cycle cost

連絡先（〒152-0033 東京都目黒区大岡山 2-12-1 03-5734-2596）



4. 各項目毎のコスト関係

センサー代: (材料費+設置費), 更新費も同じ
観測地点数: 0~20, 100, 1000個所
電力費: 0, 定額電灯料金, 250kWh/月, 500kWh/月
通信間隔

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (1)$$

$$B_t = B_{(\text{目視檢查人件費削減})t}$$

$$B_t = B_{(\text{目視檢查人件費削減})t}$$

$$C_i = c_{(\text{監視設備費})_i} + c_{(\text{電力費})_i} + c_{(\text{通信設備費})_i} + c_{(\text{通信費})_i} + c_{(\text{センサー設備費})_i}$$

$$C_{(\text{電力費})} = 1 \text{ 個所当り電氣代} \times \text{観測地点数}$$

$$C_{\text{(通信設備費)}} = 1 \text{ 箇所当り通信設備費} \times \text{観測地点数}$$

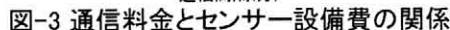
ただし、1箇所当り通信設備費 = $f(\text{観測地点数})$

$$C_{(\text{通信費})} = 1 \text{箇所当り通信料金} \times \text{観測地点数}$$

$$C_{\text{(センサー設備費)}} = 1 \text{箇所当りセンサー代} \times \text{観測地点数}$$

通信手段		コスト		帯域
		インシャルコスト	ランニングコスト	
有線系	通信会社交換回線	施設設置負担金等約8万円/引込線～	通信会社の料金表による通信時間課金	最大33.6kbps～128kbps(INS)
	通信会社専用回線		同上・距離制の定額料金	ATM:620Mbps(契約による)
	自営通信ケーブル敷設	300万/km(架空)～1200万円/km(地下)		
無線系	携帯電話	1万円/台～	同上・通信時間課金	9.6kbps
	PHS			64kbps
	パケット通信網(DoPa等)	4万円/台	同上・データ量課金	最大19.2kbps
	次世代携帯電話	不明	不明	384kbps～

監 視：	材料費 1000 万円，8 年で更新，監視要員増なし。
電 力：	電力会社から受電。
通 信：	パケット通信 (DoPa) を使用，8 年で更新。
センサー：	8 年で更新，20byte/1 回を伝送。
利 益：	現行目視検査要員の半数をモニタリングで代替
社会的割引率 r ：	4%。
プロジェクト期間 T ：	31 年 (8 年 $\times$ 4 サイクル)。



5. まとめ

- a) モニタリングのコストにはセンサー・通信費が大きな影響を与える。
- b) 電力費は定額電灯料金であればコストに大きな影響を与えないが、従量電灯料金の場合無視できない。
- c) モニタリングが経済的となる通信間隔の下限があり、波形データを常時伝送することは不可能である。
- d) モニタリングが経済的となる観測地点数の下限が存在する。
- e) 現状の検査レベルで十分であるという前提に立つと、許容できるセンサー設備費は、図-3のように上限が定まる。しかし、モニタリングには常時監視、検査困難な個所への適用といった目視検査にはない機能があり、これらを取り入れることによりセンサー設備費の上限は上昇する。今後これらをどうコストに組み込むかが課題である。また現状の維持管理が果たして十分かという現状認識によって、モニタリングの経済性が大きく影響を受けることに、より注意が必要と考える。