

断層変位が線状構造物に及ぼす影響の基礎的考察

東洋大学 工学部 正 鈴木崇伸

1. はじめに

近年、断層の運動を仮定してまれに発生するかもしれない直下の地震に対する設計法が確立されつつある。しかし、地震の規模がある程度以上になると、断層面が地表にまでおよび、大きな揺れを引き起こすだけでなく、変位運動によって構造物に影響を及ぼすことになる。本研究では、断層のせん断ずれに対して、地盤反力を受けて曲げで抵抗する線状構造物を簡易にモデル化して、断層変位と、曲げ剛性、地盤反力の基本的な関係を分析してみた。結果を要約すると、線状構造物の変形と断層変位、曲げ剛性、地盤反力は近似的に簡単な関数で表され、断面耐力と剛性、地盤反力をバランスさせることにより、断層変位に対する構造物設計の見通しが得られる。

2. 解析モデル

断層を通過する線状構造物に断層変位 d が加わるとき構造物の硬さと強さ、地盤の硬さと強さがどのように影響するか考えてみる。簡単のため、構造物は弾性とし、曲げ剛性 EI とする。また地盤はある変位量まではばねとして反力を発生し、それ以上では、一定力となるバイリニア型の特性を仮定する。図1に解析イメージを示すが、断層線を対称点として断層変位 d を受ける無限長さの直線ばりを考える。この対称点近くでは構造物は大きくたわみ、管と地盤の相対変位は大きくなる。相対変位が一定値を超える区間では、地盤は塑性化した応答値となり、等分布力を受けるモデルとなる。一方、不動点からある程度離れると、管の変形は収束して、地盤の動きに追随して移動する。この区間では地盤はばねで支持されるモデルとなる。方程式は、

$$EIw^{(4)} - p = 0 \quad 0 < x < L$$

$$EIw^{(4)} + K(w - d) = 0 \quad L < x$$

境界条件は

$$w(0) = 0, \quad w''(0) = 0$$

$$w, w', w'', w''' \text{ が } x = L \text{ で連続}$$

$$w(\infty) = d$$

の条件であり、さらに地盤の塑性化の条件として以下の条件が追加される。

$$w(L) = d - \Delta_{cr}$$

線状構造物で変形が大きい部分は、近似的に、

両端ヒンジの長さが $\sqrt[4]{\frac{24EI d}{p}}$ のはりに支点変位

と等分布力 p が加わるモデルで表すこと

ができる。地盤の硬さを表すばね係数は無関係

となり、地盤反力の上限值（強度）のみが関係する。

図2に断層のせん断ずれに対する解析イメージを示すが、線状構造物の大きく変形する部分は、上段

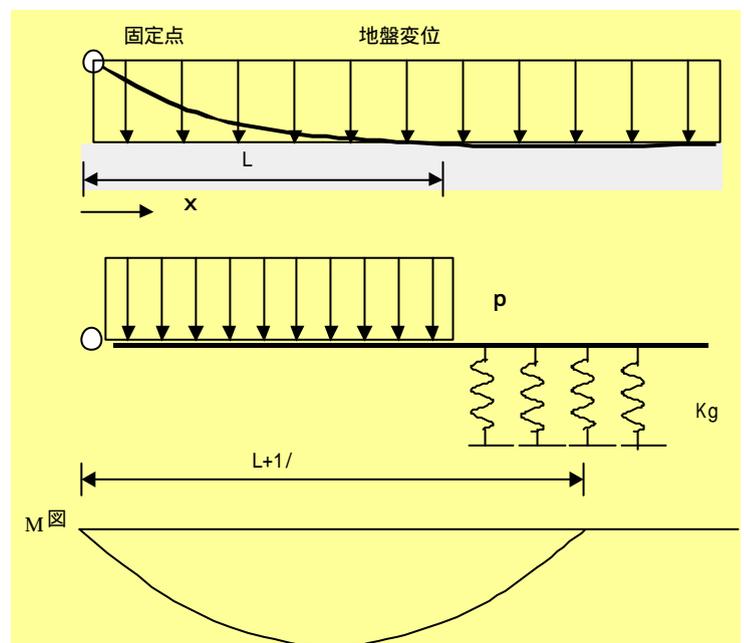


図1 線状構造物の解析モデル

キーワード：断層変位、線状構造物、地盤反力

連絡先：350-8585 川越市鯨井 2100 東洋大学工学部環境建設学科 suzuki@eng.toyo.ac.jp

に示した3点のヒンジをもつはりで表され、曲げモーメントとせん断力が簡単に計算できる。

$$\begin{cases} M_{\max} = \frac{P}{8} L_p^2 & \text{at } x = L_p / 2 \\ Q_{\max} = \frac{p L_p}{2} & x = 0 \end{cases}$$

ここで、 $2L_p$ 区間における平均せん断ひずみは、

$$g = \frac{d}{L_p}$$

となる。以上より、線状構造物に対する断層変位の影響を知るために4つのパラメータが計算できる。

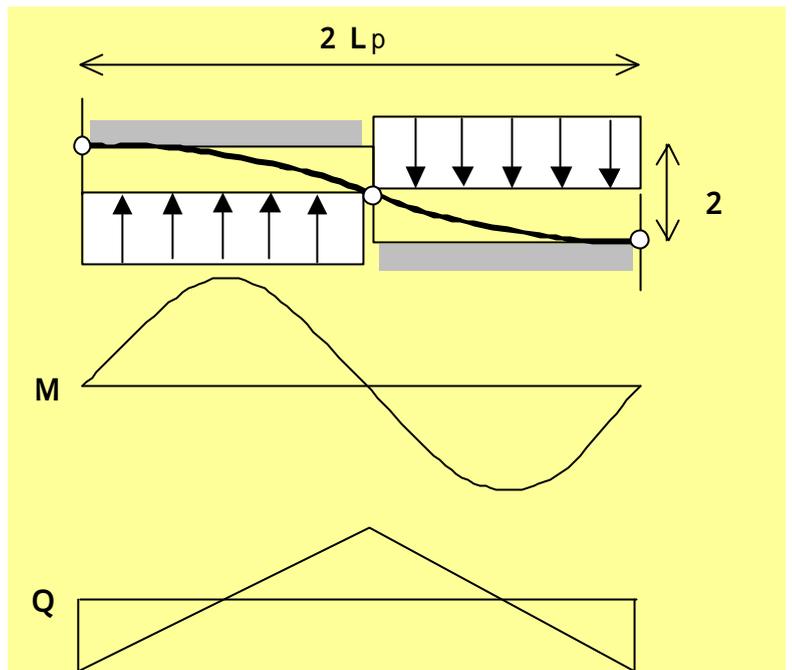


図2 断層変位を受けるはりの簡略化モデル

3. 断層変位の影響

断層変位の線状構造物への影響を知るために、影響長さ L_p 、平均ひずみ、最大せん断力 Q 、最大曲げモーメント M の計算式を示したが、これらはいずれも、曲げ剛性 EI 、地盤反力 p 、断層変位 d のべき関数で表せる。すなわち、

$$f = (EI)^a p^b d^c$$

の形となる。この (a, b, c) の関係を整理したのが、表1である。考察を以下に述べる。

表1 簡略化モデルによる関係式のべき係数

評価項目	EI	p	d
影響長さ L_p	1/4	-1/4	1/4
平均ひずみ	-1/4	1/4	3/4
せん断力 Q	1/4	3/4	1/4
曲げモーメント M	1/2	1/2	1/2

- 1) 状構造物の剛性と地盤反力、断層変位より、変形が大きくなる影響長さを計算できる。剛性が大きくなれば、影響長さは長くなり、平均ひずみは小さくなる。また地盤反力が大きくなると影響長さは短くなり、平均ひずみは大きくなる。
- 2) 影響長さ、平均ひずみともに断層変位が大きくなれば、増大することになるが、平均ひずみの増大の方がより顕著である。
- 3) せん断力、曲げモーメントともに断層変位が大きくなれば、増大することになるが、曲げモーメントの増大の方がより顕著である。
- 4) せん断力は地盤反力の影響が大きく、せん断破壊を避けるためには、地盤の拘束力を低下させるのが効果的である。
- 5) 曲げモーメントに関しては、曲げ剛性の影響と、地盤反力の影響は同程度であり、曲げ耐力の向上、剛性向上による平均ひずみの低減、地盤拘束力の低減などの対策をバランスさせて考える必要がある。

4. まとめ

今回提案した簡易式によって、高架橋やトンネル、パイプラインなどの線状構造物が断層を横切っている場合に、断層変位がどのように影響するかをおよそ知ることができる。たとえば曲げ耐力、あるいはせん断耐力を与えれば、曲げ剛性と地盤反力から、耐力値に相当する断層変位量を計算できる。今後、構造物の非線形挙動も含めて検討を進める予定である。