

I - B 143

斜材ケーブルの非線形が PC 斜張橋の地震応答に及ぼす影響

鹿島技術研究所 正会員 河野 哲也 東京工業大学 F 会員 川島 一彦

1. はじめに

地震時保有水平耐力レベルの地震動を受ける PC 斜張橋ではケーブルに大きな軸力応答が生じ、非線形化する場合がある。本報告は、斜材ケーブルが非線形化する場合の PC 斜張橋の橋軸方向の地震応答特性を非線形動的解析によって検討した結果を報告するものである。

2. 解析モデル及び入力地震動

解析対象橋は、橋長 360m の PC 斜張橋であり、ハープ形式のケーブルとなっている。桁は橋脚天端位置で上下方向に支持されているが水平方向にはフリーである。これを図-1 に示すような 2 次元骨組みモデルに置換した。橋脚および主塔には Takeda 型バイリニアモデルを採用した。主桁は線形部材とした。地震力によってケーブルに生じる軸力を $P_R(t)$ （正が引張、負が圧縮）、常時荷重によってケーブルに生じる軸力を P_S 、ケーブルの降伏耐力を P_Y とすると、ケーブルの軸力～軸変位の関係は、図-2 のようになる。降伏した後に除荷する場合のケーブルの履歴は、点線のようになるが、ここでは、解析を簡単にするため、もとのスケルトンカーブに従って戻ると仮定した。この場合は、ケーブルの軸剛性 k は以下のように与えられる。

$$k = 0 \quad \dots \quad P_R(t) \leq -P_S; \quad k = k_1 \quad \dots \quad -P_S < P_R(t) \leq P_Y - P_S; \quad k = k_2 \quad \dots \quad P_Y - P_S < P_R(t) \quad (1)$$

ここで、 k_1 は軸剛性である。ケーブルは非抗圧性の部材であるため $P_R(t) \leq -P_S$ となると、ケーブルの初期張力 P_S がなくなり、ケーブルの軸剛性 k は 0 となる。また、ケーブルの降伏力を P_Y とすると、 $P_Y - P_S < P_R(t)$ ではケーブルは降伏し、塑性剛性 k_2 を持つようになる。ここでは、こうした効果を考えずにケーブルが線形であるとした場合（ケース 1）、ケーブルの非抗圧性を考慮した場合（ケース 2）、ケース 2 に加えて、さらにケーブルが降伏する状態を考えた場合（ケース 3）を考えることとした。入力地震動は、道路橋示方書に示されるタイプ II の II 種地盤における標準地震動である。橋軸方向を解析対象とする。

3. 解析結果及び考察

図-3 に主桁が右方向に変位した状態においてケーブルに生じる軸力 $P_R(t)$ （正が引張、負が圧縮）を示す。ケーブルの非抗圧性の影響に着目すると、ケース 2 では側径間側の下から 1 段目と 2 段目のケーブルにおいて $P_R(t) \leq -P_S$ となっており、軸剛性が 0 となる。最下段ケーブルに着目すると、圧縮側（塔の左側）のケーブルに作用する動的軸力の増分を P_R^c 、引張側（塔の右側）のケーブルに作用する動的軸力の増分を P_R^t とすれば、ケース 1 では $P_R^c = 2422 \text{ tf}$ 、 $P_R^t = 2331 \text{ tf}$ とほぼバランスをしているのに対して、ケース 2 では $P_R^c = 822 \text{ tf}$ 、 $P_R^t = 2917 \text{ tf}$ と圧縮側が引張側よりも小さくなっている。これは、 $P_R(t) \leq -P_S (= 822 \text{ tf})$ となり、 P_R^c が P_S によって抑えられているためである。

いま、図-4 に示すように、 P_R^c 、 P_R^t を水平成分、鉛直成分に分け、ケーブルから主塔に作用する水平力の動的増分 P_H 、鉛直力の動的増分 P_V を求めると、

$$P_H = P_R^c \cos \theta + P_R^t \cos \theta \quad (2); \quad P_V = P_R^c \sin \theta - P_R^t \sin \theta \quad (3)$$

ケース 2 においては、 $P_R(t) \leq -P_S$ となった結果、 P_R^c が 822tf で頭打ちとなり、このため、式(2)の関係により、 P_R^t が 2331tf（ケース 1）から 2917tf に増加したと考えられる。同様に、最下段ケーブルに着目すると、ケース 1 では $P_R^c \approx P_R^t$ であるため、式(3)より $P_V = -43 \text{ tf}$ と小さいが、ケース 2 では $P_R^c < P_R^t$ となるため、これに伴って $P_V = 994 \text{ tf}$ と大きな軸力が主塔に作用する。この時の主塔の軸力分布は図-5 のようになり、主塔基部においてケース 1 では引張軸力はほとんど生じないのに対して、ケース 2 では 1205tf の圧縮軸力が生じ、これは主塔の軸応力度にすると 2.86kgf/cm² 程度であり、主塔の耐震性に大きな影響を与える値ではない。

ケーブルの引張降伏を考慮する（ケース 3）と、中央径間側の最下段ケーブルが降伏する。このため、最下段ケーブルに着目すると、ケース 2 とケース 3 とともに $P_R(t) \leq -P_S$ となるため、 P_R^c は 822tf と同じ値をとるが、 P_R^t はケース 2 の 2917tf からケーブルの降伏耐力に相当する 1327tf に低下する。

キーワード：PC 斜張橋、非線形動的解析、斜材ケーブル、地震時保有水平耐力法

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Tel：03-5734-2922 Fax：03-5734-3810

表-1は示す各ケースの最大応答値を比較したものである。上述したように主塔の軸力が増加する以外はケーブルの非抗圧性及び降伏が斜張橋全体の動的応答に与える影響は小さい。

4. 結論

(1) ケーブルの非抗圧性を考慮すると、下から1段目と2段目のケーブルでは同一高さにおける圧縮側のケーブル軸力 P_R^c が減少するかわりに引張側のケーブル軸力 P_R^i が増大する。また、これに伴って、ケーブルから主塔に作用する軸力も増大するが、この影響は著しいものではない。(2) ケーブルの降伏を考慮すると、最下段ケーブルにおいて、ケーブルが降伏する。ケース2に比較すると水平成分 P_H は減少し、鉛直成分 P_V はケース1とケース2の中間値をとる。

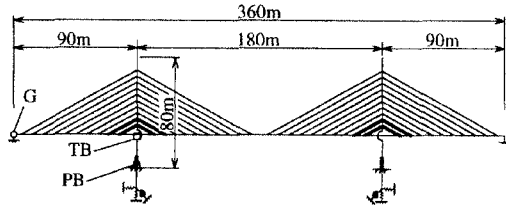


図-1 解析モデル

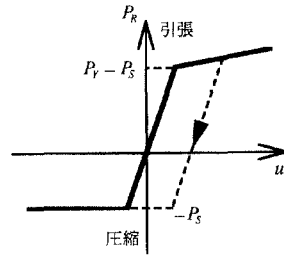


図-2 ケーブルの履歴モデル

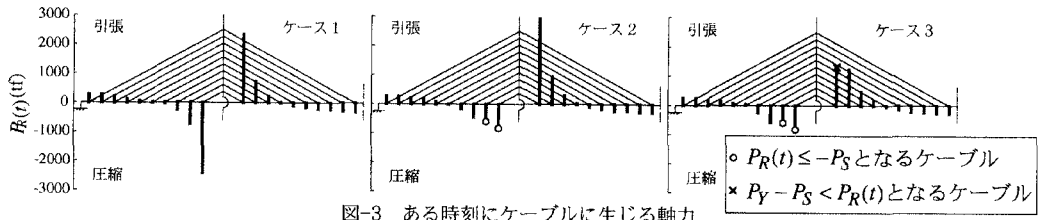


図-3 ある時刻にケーブルに生じる軸力

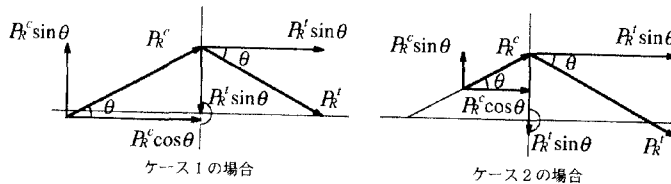


図-4 最下段ケーブルから主塔にかかる力

表-1 最大応答値

	ケース1	ケース2	ケース3
主桁 (G) の加速度 (m/sec ²)	4.66	4.42	4.05
主桁 (G) の変位 (m)	0.646	0.662	0.642
主塔基部 (TB) のMmax (tf m)	27821	27821	28900
主塔基部 (TB) のNmax (tf)	178	87	144
主塔基部 (TB) のNmin (tf)	-165	-1205	-487
橋脚基部 (PB) のMmax (tf m)	102230	102230	102230
橋脚基部 (PB) のφ (1/m)	0.00174	0.00158	0.00150

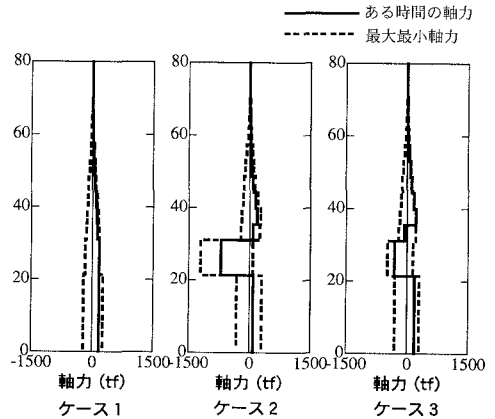


図-5 主塔の軸力分布