強制変位波形の簡易入力手法の提案と断層変位を受ける鋼斜張橋の動的解析

九州大学大学院学生会員中村壮 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲 九州大学大学院 正会員 古川愛子

1. はじめに

地震時に断層が地上に現れた場合、断層を跨いで建設された橋梁の橋台、橋脚間には大きな相対変位が生じ る.そのため,橋梁の耐震安全性を評価するためには断層変位を考慮する必要がある.断層変位解析には強制 変位を与える静的解析が一般的に用いられているが¹⁾²⁾,実挙動を正確に再現するには動的解析が必要であると 考えられる.そこで本研究では,強制外力により強制変位入力を模擬する動的解析手法を提案し,門型ラーメ ンを用いた解析により手法の有効性を示した.また,鋼斜張橋を対象として提案手法を用いた動的解析と静的 解析を比較し,断層変位を受ける橋梁の耐震安全性を評価するためには動的解析が必要であることを示した. 2. 断層変位を考慮した動的解析手法

2.1 <u>強制外力により強制変位入力を模擬する解析手法の提案</u>

強制外力により強制変位入力を模擬する方法を提案する.提 案手法は,慣性力(入力地震動の変位Z(t),Z())が作用する 1 質点系の応答と,第1 層目に強制外力(f(t),F())が作用す る2質点系の2層目の応答が等しくなるような等価な強制外力 を用いるものである.



この等価な強制外力は,2質点系の1層目の質量,減衰係数, ばね定数,および2層目の減衰係数,ばね定数を用いて式(1)のように表される.

$$F(\mathbf{w}) = (-\mathbf{w}^2 m_2 + i\mathbf{w}c_2 + k_2)Z(\mathbf{w}) + \frac{-\mathbf{w}^2 m_1(i\mathbf{w}c_1 + k_1)}{-\mathbf{w}^2 m_1 + i\mathbf{w}c_1 + k_1}Z(\mathbf{w}) \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$w^2 m_2 + iwc_2 + k_2) >> \frac{-w^2 m_1 (iwc_1 + k_1)}{-w^2 m_1 + iwc_1 + k_1} \cdot \cdot \cdot (2)$$

しかし,大規模な構造物の場合,また非線形性を考慮した場合,構造物を線形な1質点系に置き換えるのは困難 である.ここで,式(2)が成立するようなm,,c,,k,を設定すれば外力は以下の通りとなる.

(-

 $f(t) \quad m_2 \ddot{z}(t) + c_2 \dot{z}(t) + k_2 z(t) \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (3)$

m,,*c*,,*k*,をそれぞれ,変位入力用質量,減衰,ばねと呼ぶことにする. 式(3)を実現するものとして、十分に大きな値の m_2 、 k_2 を選ぶこととし、 c, はレーリー減衰によって設定することとした.

2.2 提案手法の有用性の検証および変位入力用質量,ばねの決定手法 <u>2.2.1 解析概要</u>

図 - 1 に本検討で用いた解析モデルを示す.門型ラーメンは線形梁要 素でモデル化した.門型ラーメンの基部(節点1,49)に地盤を表す相互 作用ばね(線形ばね要素)を設け、反対側の節点を節点50、51とした. 相互作用ばねのばね定数は k,=9.8 × 10⁵(kN/m)である.図-1(a)は地震 動を慣性力として入力する場合のモデルであり,節点50,51の自由度. を拘束した.図-1(b)は提案した強制変位を入力するためのモデルであ り,節点50,51に変位入力用質量を設置し,さらに変位入力用ばね(線 形ばね要素)を設置した.

時刻歴応答解析における数値積分法にはNewmark法 (=0.25)によ る直接積分法を用いて,解析は面内方向を対象とした.応答計算の積 分時間間隔は0.005秒,応答解析時間を70秒とした.減衰設定はレー リー減衰とし,各要素の減衰定数は0.02で統一した.提案手法の有効 性は以下の2 つの条件を満足するかどうかによって立証することとし

条件) 慣性力。 力結果との一致 解析ケ m₂(t) k₂(kN/m) m_2/k_2 9.8E+02 10F-0 caseA 9.8E+07 +06 E+07 caseB 9.8F+06 caseE 9.8E+04 caseC 9.8E+05 case 资位(m) 0 ·観測点TCU129 観測点TCU078 -2

表-1 解析ケース及び解析結果

30 40 時間 (秒) 図 -2 台湾集集地震の変位波形(補正後)

50

60

10

0

20

た.条件)強制変位を入力する節点50と51の応答加速度,変位が,入力した加速度,変位と一致しているか (境界条件).条件))各節点の応答および各部材の断面力が慣性力入力によって得られた結果と一致している か(慣性力入力結果と一致).入力地震動としては,台湾集集地震における観測点TCU129のEW成分を断層変位 が生じるように補正した加速度,変位波形(図-2)を用いて,加震方向はX方向とした.

|解析ケースは表 - 1 の通りである.caseA では変位入力用ばねの剛性を 9 .8 × 10⁷(kN/m) に固定して,変位入 カ用質量を様々に変えて解析を行った.条件)と)を満足するかどうか確認し,変位入力用ばねに対する変 キーワード 断層変位,強制変位波形の入力手法,動的解析,静的解析,斜張橋

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744 九州大学大学院 TEL092-802-7803 連絡先

位入力用節点の有効な値について検討した.caseB以降では,caseAで条件を満足した変位入力用質量を対象 として,変位入力用ばねの剛性を様々に変えた解析を行い,変位入力用ばねの有効な範囲について考察した. 2.2.2 解析結果

表 -1 に解析結果を示す.caseA においては,caseA-4 ~ caseA-9 で加速度,変位ともに応答値が入力値に一致し,条件)を満足した.しかしながら,caseA-0 ~ caseA-3 では,変位に関しては応答値と入力値が一致していたが,加速度は一致しておらず,条件)を満足しなかった.条件)を満足した caseA-4 ~ caseA-9 については条件)も満足した.変位入力用ばねの剛性 k_2 に対する変位入力用質量 m_2 の有効な値は, $m_2/k_2 \ge 1.0 \times 10^{-3}$ であると言える.また,caseA-0 ~ caseA-3 のように,変位入力用質量が小さすぎると提案手法が機能しないことがわかる.

caseB, caseC についても, caseA と同様に $m_1/k_2 \ge 1.0 \times 10^{-3}$ であれば条件)) をともに満足した.

以上のことから,提案手法は,変位入力用質量 m₂と変位入力用ばねの剛性 k₂を適切に選択すれば有効性があることが立証された.変位入力用質量が小さすぎると,境界条件を満足しないことがわかった.

3. 断層変位を受ける鋼斜張橋の動的解析

<u>3.1 動的解析概要</u>

図 - 3 に本検討で用いた解析モデルを示す.基礎,ケーブルは線形 梁要素,橋脚,支承,主桁,主塔は全て非線形梁要素でモデル化して いる.拘束条件はP1,P4支承はピンローラーで橋軸方向に可動,P2 支承はピポッド支承で全方向の回転を許している.また,地盤は線形 ばね要素として評価した.その反対側の節点を変位入力用節点とし, さらに変位入力用ばね(線形ばね要素)を設置した.変位入力用節点の 質量 m_2 と変位入力用ばねの剛性 k_2 の関係は, m_2/k_2 =1.0 × 10⁻¹とした. 減衰はレーリー減衰を用いた.

入力地震動としては,P1 基礎の変位入力用節点に観測点TCU129の 波形を,P2,P3,P4 基礎の変位入力用節点に観測点TCU078の波形を 入力し,加震方向は橋軸方向とした.その他の解析条件は2.2.1と同 様である.

3.2 静的解析概要

図-3 で示した解析モデルの橋軸方向に設置していた相互作用ばね, 変位入力用節点,減衰,ばねを取り外したモデルとし,基礎節点に直 接強制変位を入力した.解析条件はP1基礎節点に図-2 で示した TCU129の最大変位2.04mを,P2-P4基礎節点にTCU078の最大変位-1.44mを直接強制変位として入力した.変位は漸増変位として与えた. 3.3 解析結果

図 -4 に主桁とP2 橋脚,P4 橋脚の面内最大曲げモーメントについて, 動的解析結果と静的解析結果の比較を示す.主桁,各橋脚ともに動的 解析値が静的解析値よりも大きい値となることがわかる.これは,静 的解析は各基礎節点に強制変位を静的に与えるために基礎が平行移動 するとともに慣性力を受けないが,動的解析では相互作用ばねを介し て強制変位を動的に与えるため,橋梁は相対変位すると同時に振動も するためと考えられる.P4 橋脚において,静的解析では面内曲



50000



げモーメントがほとんど生じていないが,動的解析では降伏耐力に近い曲げモーメントが生じた.相対変位が 生じるのはP1,P2橋脚間であり,P4橋脚はP2橋脚と同じ強制変位が与えられる.静的解析ではP4橋脚はP2 橋脚と一体となって平行移動するため,P4橋脚には曲げモーメントがほとんど生じないが,動的解析では橋脚 全体が慣性力を受けて振動するため,P4橋脚にも大きな曲げモーメントが発生したものと考えられる.

以上のことから,静的解析は動的解析よりも応答を過小評価する傾向にあり,断層変位を受ける鋼斜張橋の 耐震安全性を確保するためには,断層変位を考慮に入れた動的解析を行う必要があると言える. 4. 結論

強制外力により強制変位入力を模擬する動的解析手法を提案し,門型ラーメンを用いた解析により手法の有効性を示した.また,静的解析は動的解析よりも断層変位による応答を過小評価する傾向にあり,断層変位を受ける橋梁の耐震安全性を照査するためには,動的解析を行う必要があることが確認できた. 参考文献

1)(社)日本コンクリート工学協会・九州支部:断層変位を受けるコンクリート系橋梁の耐震安全性に関する研究専門委員会報告 書,2002.11

2)高原達夫:地震断層変位がコンクリート系橋梁の耐震安全性に及ぼす影響について,九州大学修士論文,2002