

断層交差角度に着目した橋梁の破壊メカニズムと簡易な計算法

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○弥勒綾子, 室野剛隆
 ジェール九州コンサルタンツ(株) 正会員 村上昌彦
 芝浦工業大学 正会員 紺野克昭

1. はじめに

トルコ・コジャエリ地震や台湾集集地震(1999)では、強震動による被害に加えて地表地震断層による被害が数多く報告された。長区間に及び線路構造物など、地表地震断層の直上に位置する可能性の高い構造物にとっては、甚大な被害を被る可能性が非常に高い。筆者らは、地表構造物が断層を跨ぐ角度によりその被害形態が大きく異なることに着目し、水平载荷盤を用いた模型実験を行い¹⁾、その結果、地表地震断層との交差角度が地表構造物の破壊メカニズムに影響を与えることについて検討を行っている²⁾。

本論文では、昨年度行った実験のスパン長を変えて、横ずれ断層に対する橋梁の破壊メカニズムを検証する。また、簡易算定法を提案するとともに、幾何学的関係によっても桁の挙動を推定できることを確認する。

2. 実験概要

(1) 载荷装置および橋梁模型： 载荷装置は、横ずれ断層を模擬し、水平2方向(左右)に移動可能な移動板と固定板の2つの台から構成されている。その上にアクリル製の橋梁模型(概ね1/50程度)を設置した。また、桁や载荷テーブルに標点を貼付け、その動きを真上からデジタルビデオで撮影し、その映像を画像解析システムにより桁の面内の2次元的な動きを追跡した。ストッパーはφ5mmのゴム製で、ある程度の変形で破断する材質とした。

(2) 実験ケース： 実験では、断層直上桁の桁長を400mm, 800mm, 1200mmの3パターンとし、桁長が400mmでスパン数が多い場合についても実施した。実験ケースを図1に示す。また、それぞれのケースでは、交差角度による構造物の損傷・破壊への影響を検討するために、交差角度を30, 60, 90, 120, 150°とした5ケースを考えた。

(3) 計測方法： 载荷盤に、2mmずつ小刻みに静的な変位を与え、各時点での支承部の損傷状況、桁の接触状況などを計測する。支承部は各桁につき、固定側・可動側各2個ずつあり、ひび割れ、破断などの損傷度を記録した。

3. 実験結果

図2に、各ケースにおいて実験中落橋した時点の断層変位量を示す。交差角度が90°に近づくにつれ変位量は増加し、落橋しにくい傾向を示す。交差角度が90°の場合には、全ケースとも落橋に至ることはなく、落橋に対して最も有利な条件であるといえる。また、CASE-1, CASE-2のように直上桁のスパン長が長くなるケースでは、より早い時点で落橋する傾向にある。これについては、次項で詳細を述べるが、桁長が長ければ長いほど、断層変位によって生

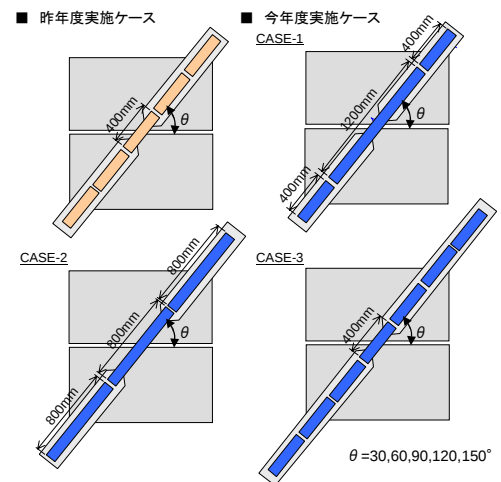


図1 実験ケース

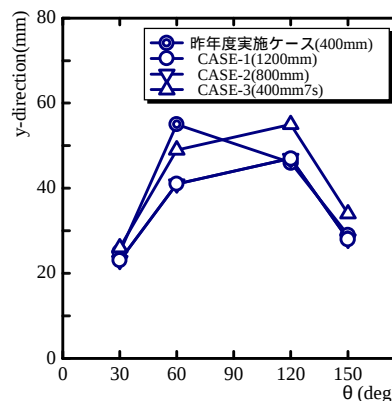


図2 落橋時変位量

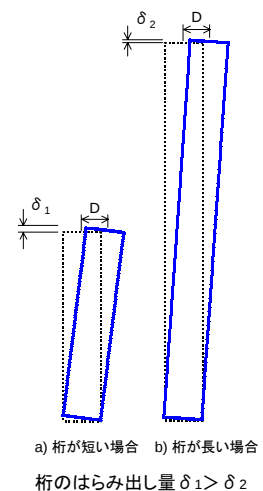


図3 桁の回転と隅角部

Key Words: 地表断層変位, 橋梁, 交差角度, 落橋

連絡先: (財)鉄道総合技術研究所(国分寺市光町2-8-38, 042-573-7262, 042-573-7248)

じる桁の回転角が小さく、線路方向の桁のはらみ出し量が小さくなるためと考えられる（図3）。従って、スパン長を長くしても構造物にとって有利にならない場合もある事を示唆している。

また、桁の変形モードは、全てのケースで同じ傾向がみられた。90度以下の交差角度では、断層を跨ぐ橋梁にとっては引張方向の変形が作用するので、桁同士が接触することなく、断層を跨ぐ桁のみに被害が集中する。その結果、他のスパンには影響が波及しない。交差角度90度の場合には、断層を跨ぐ2橋脚の橋軸方向間隔は一定なので非常に落橋しにくい。ただし、隣接の桁には影響が波及し、隣接桁が押し出されるような変形をする。90度以上の交差角度では、断層を跨ぐスパンにとっては圧縮方向の変形なので、直上桁そのものは落橋に至りにくいものの、次々に隣接スパンに伝播し、最終的には全スパンが接触して影響が及んだ。支承部の損傷状況からも同様の結果が得られた。

4. 破壊過程および簡易算定法

桁の変形モード（画像解析結果）および支承の損傷状況から、断層を跨ぐ角度が90度以上であるか90度以下であるかによって、橋梁が全く異なる破壊過程を辿る。そのため、算定方法も交差角度 $\theta < 90^\circ$ と $\theta > 90^\circ$ とで区分して考える必要がある。

） $\theta < 90^\circ$ の場合：断層変位によって直上桁の橋脚間隔が広がる。支承部にひび割れ・破壊が生じる。損傷がひび割れ程度に納まった支承を軸として桁が回転する。橋脚の桁かかり以上間隔が広がると落橋に至る。

） $\theta > 90^\circ$ の場合：断層変位によって直上桁の橋脚間隔が狭まる。直上桁の支承全てがほぼ同時に破壊する。線路方向に圧縮力が働き、隣接桁を押し出し落橋に至る。

$\theta < 90^\circ$ の場合、桁長を L 、桁幅を B 、断層変位量を D 、桁と断層の交差角度を θ 、桁の回転角度を φ とすると、軸方向の桁変形量 G_L は、式(4.1)で表される。 G_L が桁かかり余裕量に等しくなった時点で落橋すると判定できる。一方、 $\theta > 90^\circ$ の場合、軸方向の桁変形量 G_L は式(4.2)で示され、桁かかり余裕量と遊間の総計に等しくなった時点を落橋と判定する。

$$G_L = D \cos \theta + (L - L \cos \varphi) - \frac{B}{2} \sin \varphi \quad (4.1)$$

$$G_L = D \cos \theta \quad (4.2)$$

断層と構造物の幾何学的関係から落橋時の断層変位量を算定し、実験から得られた値とともに図5に示す。この結果、算定値は実験から得られた結果とほぼ一致しており、簡易算定法によって桁の変形量はおおよそ推定可能であるといえる。ただし、スパン数が多く線路方向に大きな拘束力が働く場合には、実際には算定値よりやや落橋しにくい傾向を示す。今後は、より高精度な解析を行い、様々な諸条件を反映したモデルを構築する必要がある。

5. おわりに

本論文では、断層を跨ぐ角度により橋梁の破壊メカニズムが大きく異なることを明示し、交差角度と落橋変位量の関係を示すノモグラムを提示した。また、簡易算定法においても桁の挙動をおおよそ把握し、実験結果とも整合性のある結果が得られた。今後は、より多様な条件下での実験を行い、地表断層変位への有効な対策を施す足がかりにしたいと考える。

参考文献 1)室野, 弥勒他: 地表断層変位を受ける橋梁の変形モードに関する実験的検討, 第57回土木学会年次学術講演会概要集, 2002. 2) 弥勒, 室野他: 断層交差角度に着目した橋梁の破壊メカニズム, 第57回土木学会年次学術講演会概要集, 2002.

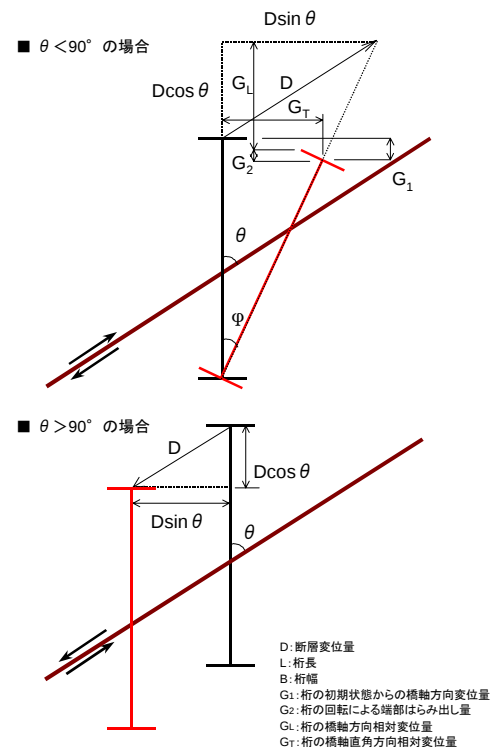


図4 断層と構造物の幾何学的関係

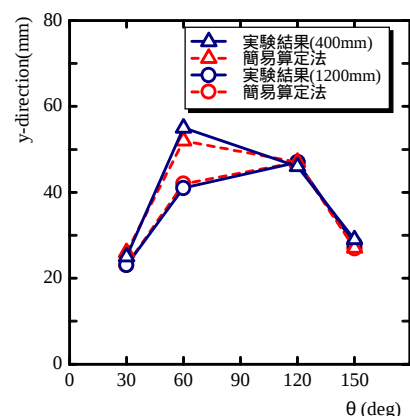


図5 実験結果と簡易算定法の比較