

11. 鐵道軌條の波狀屈曲

地震研究所 高橋 龍太郎

(昭和10年12月16日發表—昭和10年12月31日受理)

昭和10年4月21日の臺灣中部激震に因つて鐵道の受けた被害は非常に著しく、基隆に發して海岸に沿ふて南下して高雄に達する縱貫線に於ても、亦竹南より分岐して縱貫線と並行に其の約20km東を南下し、苗栗、臺中等を通過して後、追分に於て縱貫線と合流する臺中線に於ても、至る所に線路面の沈下、築堤の崩壞、翼壁の龜裂、橋梁の損害等が起つたのである(卷末鐵道被害圖參照)。殊に臺中線十六份驛と後里驛との間に於ては隧道の被害8、橋梁の破損したもの3、其他線路の屈曲、沈下等あり、復舊開通には約1年間を要すと言はれる程で、今回の地震により最大の被害を受けたのである。

是等の種々な鐵道被害の中、軌條の彎曲は線路面の沈下、築堤の崩潰等のあつた場合には必ず其れに伴つて生ずる様である。枕木を附けた軌條は其れを支へる地盤が傾斜、移動沈下等して最早や軌條を支持し得ない場合には、容易に自重と枕木の重量とによつて撓曲する様であつて、此の様な線路面の變形の爲の軌條の彎曲は、今回の地震に限らず、何時何處の激震でも極めて普通に見掛ける所である。殊に鐵道軌條は、其の斷面の形からして水平面内に彎曲し易いものと思はれる。此の種の原因に依る軌條の彎曲は概ね大きな曲率半徑を持つた緩い曲線を爲してゐる。

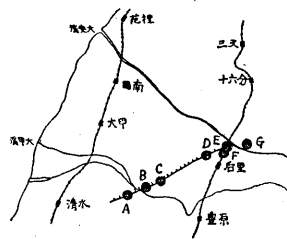
然るに線路面及び其の周圍には外觀上何等の變化をも生じてゐないのに、軌條のみが枕木と共に水平に移動して著しい屈曲を爲す場合がある。卷末寫眞第173圖に示したものは其の1例であつて、此れは后里驛の北方約700m、9/1000の昇り勾配から25/1000の降り勾配で第8隧道に入らうとする邊りに出來たもので、寫眞からも判る通り、地盤の方には何等の變化も發見出來ないにも關らず、軌條は枕木と共に正弦波狀の複雑な屈曲を爲してゐるのである。

筆者は斯様な、路盤の沈下、崩潰等に因らずに生じた曲率半徑の小さい軌條の彎曲を指して波狀屈曲と呼ぶのであるが、同様の例は今回の臺灣地震に於ては大安驛構内に現れたもの、大安驛と第8隧道北口との中間に現れたもの(卷末寫眞第171圖參照)、豊原郡内埔庄犁頭標部落の西方1kmの點に於て甘蔗畑の中に敷設した製糖會社軌道に現れたもの(卷末寫眞第220圖參照)、及び卓蘭大安驛間臺車軌道に於て矮山隧道附近に現れたもの等を擧げる事が出来る。最後に擧げた臺車軌道のもは臺北測候

所長西村傳三氏に據れば、鋪裝道路の震害にて鋪石が押合ひ持上ると同様な上方への屈曲をも爲して居たと云ふ事である。

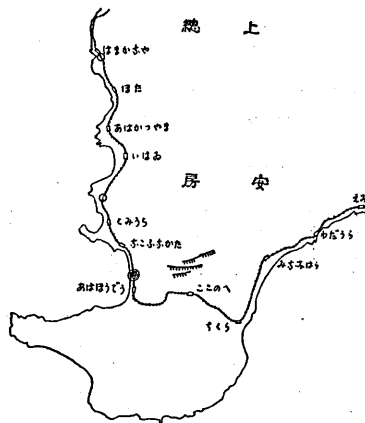
線路の彎曲は其他の點に於ても發見されてゐる（卷末鐵道被害圖参照）が此等は凡て築堤の崩壞、路盤の沈下に原因を有するものと見做し得る様で、此處に云ふ波狀屈曲といふ範疇には入らぬものと思はれる。

今、此等の屈曲の起つた點を地圖に盛込み、同時に今回の地震によつて生じた斷層を書込む時は、此等の屈曲を生じた點は明かに斷層又はその延長上に存在してゐるのである（第1圖 A B E F G）。尤も、第8隧道南の屈曲と、矮山東の臺車道軌の屈曲とは地表に現れた雁行狀微構造を有する屯子脚斷層の走向とは少々外れてゐる様に考へられるが、泉州厝の東側に於て所謂屯子脚斷層と分歧し、鐵道を横斷し、圳寮公館の南の谷に於て雁行狀の裂罅を作り、更に大安溪の北岸に出で、其處に大きな地亡や、其れと石壁坑間の多數の崖崩れ（大學演習林内の地亡、卷末報告資料参照）を作り、更に河を渡つて斜對岸の矮山の崖崩れを生ぜしめ、次に全部落殆んど全潰した補尾、校栗林等に抜ける隠れた斷層の存在が家屋の被害や地變から見て考へられるので、若し此の斷層の存在を考慮すれば上記の屈曲も亦正確に斷層の延長上にあるものと言ふ事が出来る。（卷末地圖 No. 18, 19 参照。）



第 1 圖

關東地震の際には鐵道の被害は今回の臺灣のと比較にならぬ程甚大であつたにも關らず、波狀屈曲の例は甚だ乏しく、鐵道省發行の鐵道被害調査書¹⁾の寫眞によれば那古船形、安房北條間に於て出現したのみである。此の屈曲點も關東地震に際して出現した唯一の斷層群、延命寺、宇戸、瀧川斷層の延長に當つてゐる。尤も同寫眞帖には第2圖に小円で示した點に於ける今二つの軌條の彎曲の寫眞が掲載してあるが、其の一つは小塚川橋梁南端の築堤の沈下によるものであり、他の一つは無南谷築堤の沈下移動によるものであるらしいので、之は吾々の云ふ波狀屈曲ではない。是によつて觀れば波狀屈曲は單に震度が大きい許りでは生じないものと思はれる。



第 2 圖

1) 鐵道省、大正十二年鐵道震害調査書（昭和2年）。

波状屈曲の例は伊豆地震の際にも駿豆線大場驛の南方に於て認められたと云ふ事であるが、此處には大塚彌之助氏²⁾によれば、隠れた斷層が通つてゐるのである。

以上の様に種々の例を取り來つて考へる時、波状屈曲なるものは唯單に震動の震度が大きいと言ふ許りでは生ぜぬのであつて、斷層上又は斷層の延長上に限つて生ずるものであり、又従つて逆に波状屈曲の出現は其處を斷層又は斷層の延長線が通過する事を暗示するものであると考へられる。従つて其の生成の機巧には斷層の生ずる運動、若しくは斷層附近に特有なる地震動の状態が重要な要素を占めてゐるものと考へても差支ないであらう。

然らば實際に軌條を乗せてゐる地面が如何なる運動を爲したならば、此様な軌條の屈曲を生ずるであらうか。斷層線が斜に鐵道線路を切つてゐる場合には、軌條は斷層の水平移動の向きによつて、張力又は壓縮力を受けると考へられる。尤も張力を受けた場合には軌條の接手が切斷する位で屈曲は生ぜぬものと思はれるが、壓縮の場合には容易に水平な誤差曲線の様な屈曲を生ずるであらう。前記の内埔庄の甘蔗畑中の製糖軌道の屈曲等は此の例であると思はれる。

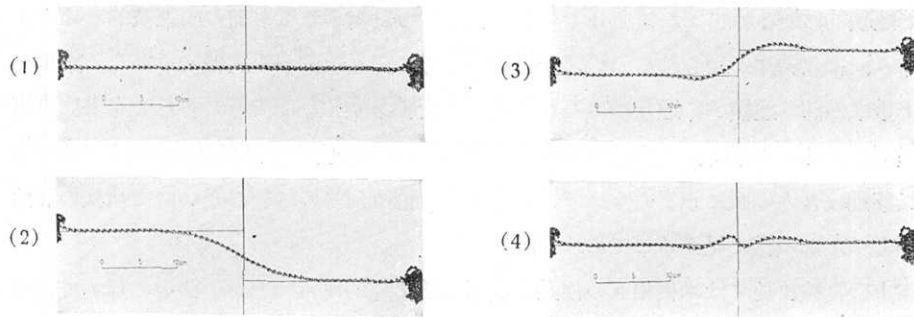
關東地震の際、錦糸堀高架線の軌條枕木が燒失した爲、軌條が膨張して誤差曲線狀の軌條の屈曲を生じたのは、明かに壓縮によつて此様な形の屈曲が出来る事を證するに足るものであらう。若し何等かの原因で水平の屈曲が出来難い場合には上方へ屈曲して軌條が持上るであらう。前記の西村氏の見られた矮山の屈曲等は斯ういふ原因に因るものであると考へても、斷層全體としての運動等から考へて強ち無理ではない。軌條は犬釘を以て枕木に止めてあるので、軌條の方向には滑動出来るから壓縮は受けないと一應は考へられるが、然し少しく長い距離を取つて考へれば、枕木と軌條との摩擦は軌條の彈性に打勝つであらう。

然し上記の様な單なる移動や、單なる壓縮によつては卷末寫眞第173圖に示した様な複雑な屈曲は生じ難い。壓縮によつては何處か1箇所が曲り始めると、其處許りがドンドンと屈曲してゆくのが普通である。従つて屈曲は必ず1山となる筈である。上記第173圖の様な屈曲を生ずる爲には地面は壓縮以外に何か斷層附近で特別な運動をするものに相違ない。然らば如何なる運動を地面が爲せば此様な屈曲を生ずるか。筆者は次の様な模型實驗によつて一つの説明を考へて見た。勿論此の種の模型實驗によつて、此の種の問題の解釋を試みる事は間違つた結論に到達する危険性が多く、吾人の常に戒む可き事であるが、筆者が此處に敢て其の危険を冒す所以は實驗の結果が餘りによく事實と符合する事、單に出來上つた最後の形のみでなく、其の出来る途中

2) 地震研究所彙報 10 (1932), 235.

の形に相當してゐると思はれる様な屈曲も存在する事、其れの生ずる原因が假想的なものでなく斷層の存在又は生成に關聯して考へ得らる地面の運動である事等から可成り確からしいと信ぜられるからである。若し更に妥當な説明があれば直ちに其に改める用意がある。實驗は次の様に行つた。

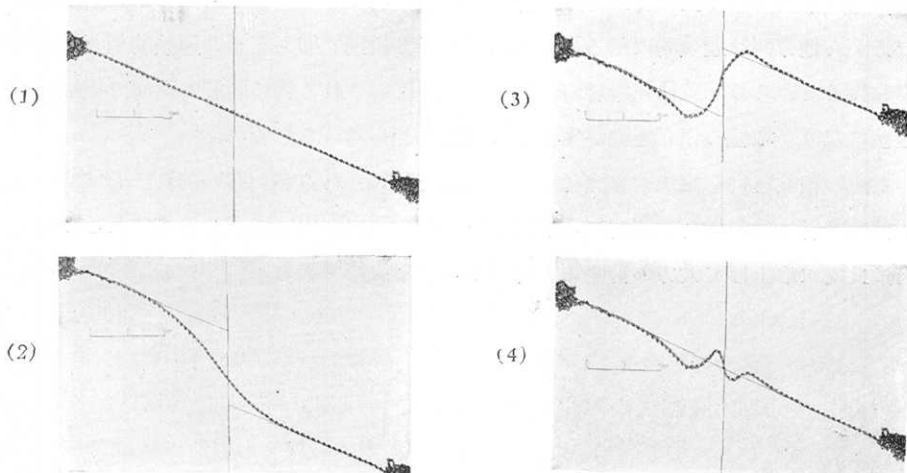
30 cm 程の四角な木板を 2 枚接して並べ、兩方の板に跨つて一直線に眞鍮の鎖を置く。今板に減衰正弦運動で表される様な相互運動を與へる時は、鎖は寫眞の第 3 圖及び第 4 圖の (1) (2) (3) (4) の様な順序で美事な上記寫眞第 173 圖の波狀屈曲に似た



第 3 圖

屈曲を生ずるのである。軌條を弾性のない鎖で代表させる事は、不當の様で實は不當ではないので、バラスに埋つてゐる枕木とバラスとの間の摩擦に較べては軌條の弾性は小さなもので、無視して一向差支ないと思ふ。

第 4 圖は斷層線に對して斜に線路の敷設されてある場合に相當して居る。



第 4 圖

此の實驗の様であると、兩方の木板の境目には斷層が現はれなければならない。實

際寫眞の(2)の場合は斷層によつて軌條が相對移動をした場合で、丁度此の場合に相當するものが前記甘蔗畑中の屈曲の少しく北東、内埔庄犁頭標の北約 500 m、通稱三角子といふ所に生じた(第 1 圖 C 點)。卷末寫眞第 217 圖は此處の寫眞で、軌條は上の實驗の寫眞の(2)とよく似た屈曲を畫いてゐる。同様の例は泉州厝部落一圳寮部落間の製糖用鐵道を屯子脚斷層が切る點に於ても見出された(第 1 圖 D 點)。

然し卷末寫眞や其他に示された波狀屈曲では、屈曲の附近には何も地變が現れてゐないのである。此れを説明するには兩木板間に距離を作り、此の間にて木板間の運動が連続的に變る様にすればよい。事實此様にして實驗をしても前の不連続的な場合と略々同様な結果が得られるし、又一方地面の方は相互運動が不連続的でなく、數米~十數米の間で連続的に連なつてゐれば地割や斷層も生じないであらうし(卷末寫眞第 230 圖參照、この麥畑には地割も何も無いが可成り不連続的な相互運動を爲してゐる)、又移動は吾人の眼に止まらないであらうから、恰も何等の地變がないのに軌條の屈曲があつたかの様に見えるのであると思はれる。

上の實驗に於ては木板相互の移動は簡單の爲に靜的に行つたが、強いて靜的である必要は無いので、實際には地面は秒乃至秒の端數程度の周期の運動をしたとすれば、此の場合には軌條、枕木の慣性の影響が生じて、却つて屈曲が出來易くなるであらう。

兎に角上記の様な連続的相互移動乃至相互振動が現れる爲の條件は色々考へられる。斷層面が表面にまで達しない場合には、地下の斷層の運動が一方向の移動でも、其の上に乗つてゐる表面層は自分の彈性で斷層の現れるべき線の兩側で點對稱的で且一方から他方側へ連続的に變る振幅を持つた減衰振動、即ち上記の連続的相互運動を爲し得るであらう。或は又斷層の處で地震波が反射される爲に斷層の兩側で振幅が不連続になり、地盤の相互運動が生ずるのであるとも考へられる。

上記の相互運動を生ずべき機巧は外にもまだ考へられるが、其の何れにしても此の屈曲は斷層生成の機巧を闡明する手掛を與へ得る面白い現象であると思はれるので、特に此處に取上げて大方の御叱正を仰がうとする次第である。

11. *On the Sinuous Buckling of Rails.*

By Ryūtarō TAKAHASHI,

Earthquake Research Institute.

Buckling of rails, which often accompanies a strong earthquake, is usually due to subsidence of the ground or to destruction of the embankments on which the rails lie. Buckling due to these causes is usually gentle, i. e., of large radius of curvature, and occur both in horizontal and vertical directions.

There is however another sort of bucklings in which no change of any kind can be discerned in the ground, although the rails are bent sharply into more or less complicated sinuous form. In this case, buckling occurs only in a horizontal plane. The writer will here refer to this type of buckling as the sinuous one. In Fig. 173 is given an example of such type of buckling, which occurred north of Kōri station, Taityū line, in the recent Formosa earthquake. Similar examples will be found in the photographs at the end of this volume.

All these sinuosities were noticed by the writer to have occurred on a fault zone, or on an elongation of it, that appeared with the earthquake. The same seems to have been the case in the Kwantō earthquake of 1923, in which sinuous buckling appeared only midway between Nakohunagata and Awa-hōdyō stations, the point of intersection of an elongation of the Enmyōzi fault groups with the railway, notwithstanding that the earthquake vibrations were equally strong elsewhere. This seems to show that this manner of rail buckling is not the result merely of strong vibrations, but of some special motion of the ground connected with fault generation. Contraction of the ground can, it is true, cause buckling, but the resulting shape is generally simple.

To elucidate the mechanism of generation of this sinuous buckling, the writer made a simple experiment, in which the rail was represented by a chain, and the ground by two wooden boards. The elasticity of the rail was neglected in view of the friction of the sleeper embedded in the gravel.

When the wooden boards, laid side by side, were simultaneously moved to and fro, but in opposite directions, parallel to the line of contact, the chain that was stretched over them assumed a sinuous shape, as shown in Figs. 3 and 4, which experiment seems to suggest that fault generation is accompanied in some cases by a strong relative oscillation of the surface layer of the ground on both sides of the fault.

討 議

地震によつて鐵道線路の波狀屈曲を呈する事は大地震の場合屢々見受けられる事である。然し乍ら其の原因に就ては多く論ぜられ無かつた様である。今回の臺灣地震に於ても數ヶ所に於て斯様な現象が生じ、其等が地震によつて生じた所謂斷層上及び推定延長上に存在した事から、高橋學士の注意を惹き且つ其の説明を試みた事は甚だ結構な事である。

高橋學士は其の説明を助ける意味に於て眞鍮製の鎖を相接する四角の木板上に乗せ、木板の相互變位によつて鎖の屈曲する狀況を觀察した。然し斯様な模型を採用するに就て注意すべき事

は、一層重大な問題が反つて擡頭するに云ふ事である。即ち第一に鐵道線路を如何なる理由を以て鑽に置き換へ得るか云ふ議論である。鐵道レールは確かに弾性を具へたものであるから、此れを針金を以て置き換へても差支へないであらう。針金 2 本を枕木を代表する木片上に固定し、床に振動を與へても波狀屈曲を實現しないに云ふ事は無い。静止の場合、針金は木片に取りつけてあり、木片は床との間に固體摩擦の存在する事を以て本來針金が屈曲せんとする傾向はあつても、其れは阻害されて居る事は事實である。地震動、特に其の上下成分に因つて相互間の固體摩擦は減少し、針金は比較的運動し易き状況に置かれる事は勿論である。吾々は個々の議論に立入る前に何故に鑽により鐵道線路が代表せしめ得るか云ふ事を先づ審議する必要があると思ふ。

第二の問題は地震時に發生する所謂斷層の特性である。所謂斷層の運動に関しては極めて少數の目撃者の言を根據となす事が多いには相違ないが、一方向きに相互運動が相當緩かに行はれるに反し、往復運動は未だ且て見當らない様である。従つて高橋學士の示した第 3 圖 (2) に於ける鑽の變形の如きは、偶々線路が斷層上を通過して居る際には起り得べき事として採用し得るであらう。然し乍ら線路の波狀屈曲を發見したに云つても逆に斷層の往復運動を認めるに云ふ事はない。即ち斷層運動の特性は別途より系統立てられて居るものであるから、斯様の一事を以て其の系統を破壊するに俚げないのである。吾々は從來の系統を墨守せんとするものでは決してないが、單なる鐵路波狀屈曲を以て從來系統づけ來つた斷層運動に加へて新現象を附加する事を欲しないのである。鐵路屈曲は以上述べた他の方法に委ねて説明して置いたならば如何であらうか。

(石本)