

室内・外 実験を通じた道床バラストの破碎特性分析

○ 李春吉(韓国鉄道公社) 金南永(韓国鉄道公社) 禹炳九(韓国鉄道公社)

李誠旭(韓国鉄道公社) 金寛炯(韓国鉄道公社)

An analysis of the Crushing Characteristic of the Railway Ballast Gravel through the
Indoor and Outdoor Test○ Lee ChoonKil(KORAIL), Kim NamHong (KORAIL), Woo Byoungkoo(KORAIL)
Lee SungUk(KORAIL), Kim KwanHyung(KORAIL)

The railway ballast, one of track components, plays an essential role as intermedium in transmitting train load to subgrade safely, and the deterioration of ballast directly effects the growth of track irregularity. In this study, we determined the main factor of ballast deterioration was miniature of ballast gravel caused MTT(Multiple Tie Tamper) works and accumulated traffic loads. To estimate the deterioration characteristics of ballast, we carried out field test through track construction for test and the model test simulating the actual operation environment, have done a comparative analysis with the sample's result(crushing rate) of high-speed railroad running actually.

キーワード：下固め装備, バラスト劣化, バラスト細粒子, 破碎比率

Key Words : MTT(Multiple Tie Tamper), Ballast deterioration, Miniature of ballast gravel, Crushing rate

1. 序論

合理的で経済的な軌道の維持補修のためにはお互い異質的な材料特性を持った軌道構成品(道床バラスト、レール、枕木、締結具、Pad)の保守週期及び交換週期に対しての統計的な履歴データが確保されなければならない⁽¹⁾。本研究では、高速線道床バラストの寿命を予測、評価するための先行条件として室内・外実験を実施した。本研究の目的は、大型装備による下固めの影響と累積される列車通過荷重を道床劣化の主な要因として仮定し、この様な要因らによって発生される道床バラストの破碎特性を分析する事である。そのため試験用軌道附設し現場実験(室外実測試験)と実際の運行環境を模写した模型実験(室内模型実験)を行った。また、実際運行線上の試料を採取して細粒化の程度を把握し試料採取区間の補修履歴データを分析して実験の結果値と比較した。

2. 室内模型実験

2.1 実験概要

累積通過トン数による道床バラストの破碎特性を分析するため、室内模型実験を行った。室内模型実験で実際の軌道挙動を描寫する領域についての概念図は 図1 である。図2 では、移動在荷の荷重試験設備を利用した模型実験の全景を表している。本実験で使用された模型は、枕木とバラ

ストの厚さを考慮して 400×600×600mm の大ききで製作した。また、荷重在荷板で 使用された枕木は現在、高速線で使用されたいる PC 枕木を挙動の描寫領域合わせ切斷して使用した。室内模型実験の加振周波数は、“車輛運行によって道に与えられる圧力は、各車軸の影響が別として作用されるのではなく幾つかの車軸でできたボギー(bogie) 単位の影響が支配的である”という仮定の下で設定された。⁽²⁾ このような仮定を基にボギー間距離を d 、列車走行速度を V 、ボギー荷重の繰返し周波数を T とすると、加振周波数 f は、式(1)のように算定する事ができる。

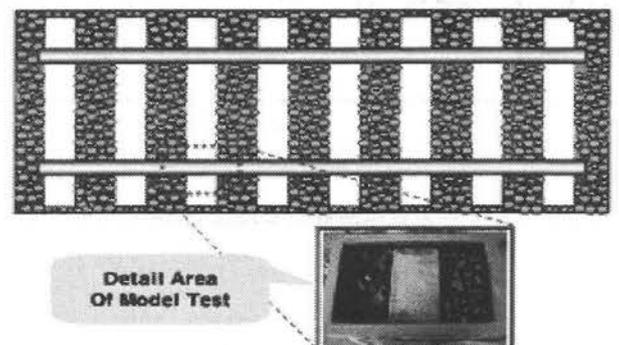


図1 室内模型実験の概念図



図 2 室内模型実験の全景

$$F=1/T=V/d \dots \dots \dots (1)$$

在荷荷重の算出のために車軸の配置条件を KTX 機関車と同じく仮定して行った軌道解析の結果、枕木下面に作用する圧力は、0.276MPa、枕木有効支持部の単位長当り作用力は、82.94N/mm であった。上の結果を基にして実験用模型の幅 400mm に値する換算荷重値(33.176kN)を計算した。また繰り返し荷重(1、10、20、30、40、50、100 万回)を変数として室内の模型実験を行った。

2.2 実験結果分析

繰り返し荷重別に採取した試料の破碎粒子比と粒度分布試験の結果、繰り返し荷重在荷回数増加とともに道床バラスト破碎粒子比率は図 3 のように 1 次関数の形で線型的な増加分布をみせた。また、推勢線を用いた関数式との決定係数(R²)も 0.9323 という 1 に近い高い相関関係をみせた。粒度分布試験の場合、図 4 のように荷重在荷回数の増加とともに漸次的に 粒度基準を離れる結果を見せてその変化は 40mm 笠子の大きさに顕著であった。

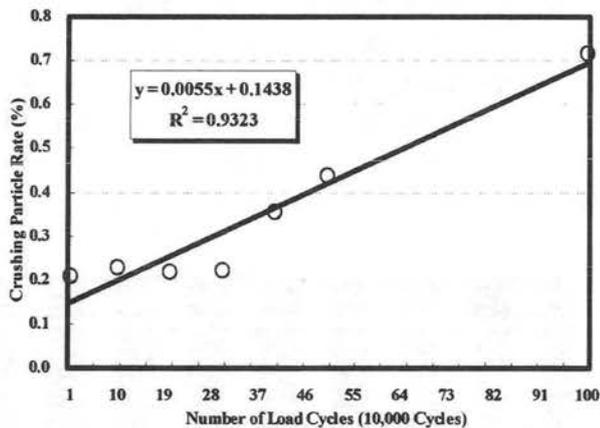


図 3 荷重在荷回数別破碎粒子比率

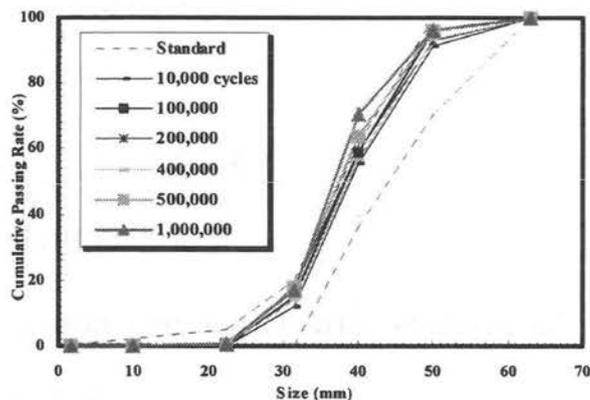


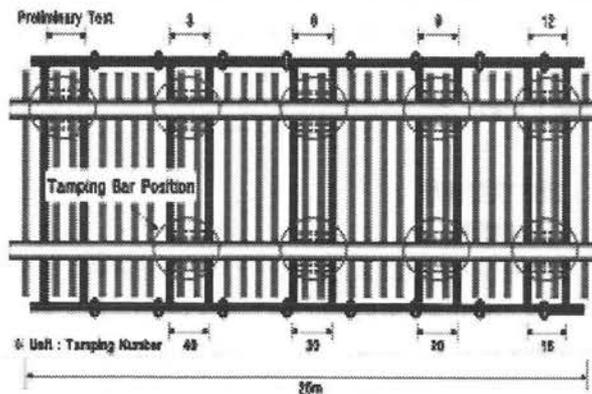
図 4 荷重在荷回数別粒度分布試験の結果

3. 室外実測実験

3.1 試験用軌道の附設

大型装備による下固め作業回数による道床バラストの破碎特性分析のために京釜高速線、嶺東保守基地区内の側線(#14)で試験線を附設した。図 5 のように試験線の総延長 25m に枕木 2 丁当り一つの case で総 5 個の試験枠を構成して道床の深さは、現高速鉄道設計基準である枕木下面から 350mm とした。試験用軌道の附設のために使用されたバラストは、現在 高速線で維持補修の時使用されている道床バラストと同じ材料である。

試験用軌道の附設において事前に現場のレベル測量を通じ試験線の附設高を確認して路盤の上面まで道床を掘鑿した。車輛通行及び路盤の長期間放置によって一部の路盤表面が著しく無いことがあり得るので試験用軌道を附設する前に路盤平坦作業及び下固め作業を行い正確なレベルが確保できるように路盤を整理した。道床と路盤の間にシートを附設して路盤粒子の混入を防いだ。また、試料の混ざりを防止するため設置した各 5 個の試験枠内部には試料採取の容易性のために試料採取網を追加に設置した。試験枠を設置した後は道床振動ローラーを利用して 100mm 厚さの各層のバラストを押し固めながら道床を附設した。最終軌道組み立ての後には線路の線型訂定、下固め及び道床安定化のために MTT と DTS(動的軌道安定機; Dynamic Track Stabilizer)作業を実施した。



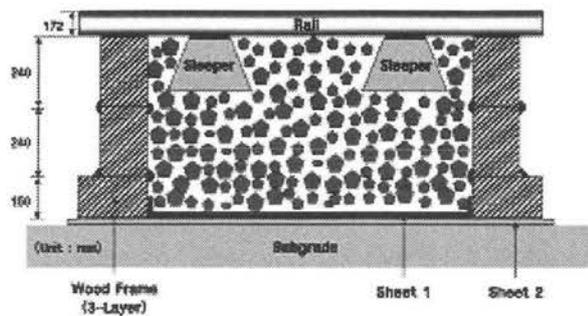


図5 試験線附設の概念図

3.2 測定実験および結果分析

試験用の軌道附設後、MTT と DTS を利用して 3 回、6 回、9 回、12 回、15 回、20 回、30 回、40 回 などと道床下固め 及び軌道安定化の作業を繰り返した。実際の高速線で実施される維持補修の形を最大に模写するために MTT1 回+DTS1 回の作業方式で総 40 回を実施して実際と同じような下固め時間及び下固め棒振動週期 (35Hz) を使用した。本研究では、バラスト道床の圧力分布を“枕木中央部の 1/3 区間に道床反力(Ballast Reaction)がない状態で均一な大きさの圧力が発生する。”と仮定して枕木の中央部を除いた有効支持部⁽³⁾区間で試料の交欄を最大に防ぐため真剣にサンプルを採取した。

粒度試験の結果、図6のように道床下固め作業回数の増加とともにバラスト破碎粒子比率は、回帰分析結果 1 次関数の形で線型的な増加分布をみせた。また、推勢線を利用した関数式との決定係数 (R^2 , Coefficient of Correlation) も 0.9781 と言うに非常に近い相関関係を見せた。ここで破碎比率(Crushing Rate)は、採取した試料の全体重量に対して 22.4mm 網通過試料重量の比率を百分率で表した値である。KS F 2502 試験方法⁽⁴⁾に基づき道床下固め作業の回数別で測定した粒度分布試験の結果、図7のような道床バラストの粒度は下固め作業の回数増加によって全粒子に対して漸増的に基準を離れる結果を見せた。これは道床下固め作業によってバラスト粒子の破碎が全ての粒子にかけて全体的に均等に発生し、また、バラスト粒子の変化によって道床の支持力が弱化して道床の寿命が短縮する可能性あることを意味する。

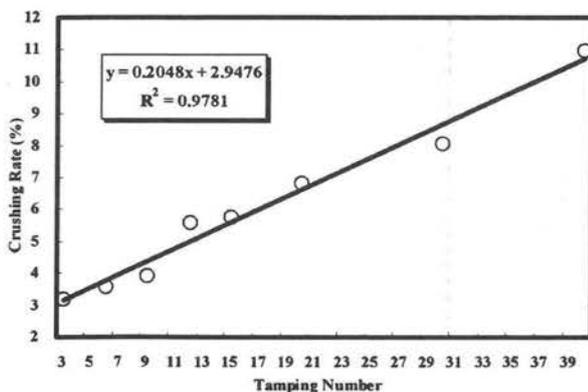


図6 道床下固め作業回数別破碎粒子比率

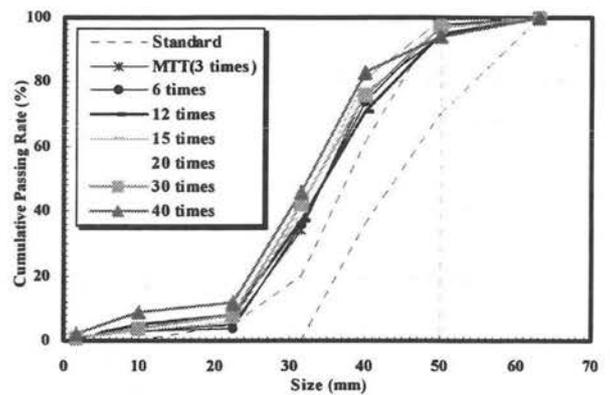


図7 道床下固め作業回数別粒度分布試験の結果

4. 実験結果検証

4.1 運行線での試料採取

室内、外実験で得た研究結果の正確度を測定するための方法として実際の運行線上で採取した試料の道床バラスト破碎粒子比率を基準実験モデルを検証した。試料採取区間の選定はよく人力補修と装備作業によって道床バラストの置換を決定した支点を選定した。試料採取区間は京釜高速線の下行き (T1) 78.347km 支点である。室外実測実験と同じ方法で試料を採取して KS F 2502 試験方法に基づき道床バラスト粒度試験を遂行した。試験結果、運行線試料採取区間の道床バラスト破碎比率は 8.46%であった。

4.2 結果検証

前で述べた室内、外実験結果を総合して道床バラストの細粒化に対する破碎粒子比率 (F) の実験モデル式を次の式(2)に表した。変数 N_1 と N_2 は、各 MTT 下固め作業回数と繰り返し荷重在荷の回数である。

$$F = f_{\text{Field test}} + f_{\text{Model Test}} \dots \dots \dots (2)$$

$$= [0.2048N_1 + 2.9476] + [0.0055N_2 + 0.1438]$$

4.1 節で述べた運行線サンプルの破碎粒子比率 (%) の結果値は、高速線開通 (2004 年 4 月) 初期から道床バラスト置換が行われた 2008 年 3 月までのその 4 年間の MTT 作業回数と累積通過トン数に基づく。これに関した線路補修履歴データ分析を通じて算出した MTT 投入回数は 29 回であり、4 年間の総累積通過トン数は、約 86,865,000 トン (2004 年~2008 年 3 月) である。2.1 節で加振周波数及び換算荷重値の決定の時仮定したように本研究ではすべての通過トン数を 17 トン軸中によって評価して KTX 機関車つまり、車軸 4 個 (2 台の Bogie) にあたいる通過トン数を一つの荷重サイクルと仮定した。したがって サンプル区間の総累積通過トン数に対する換算荷重の在荷回数は 1,280,000 回であり、変数 N_1 (29 回) と N_2 (128 万回) の値を式(2)に代入すると 9.73% と言う結果値がでる。

結果的に運行線で直接採取した試料の道床バラスト破碎比率値 8.46% は、実験モデル式を通じて算出した計算結果値 (9.73%) と比べ良好な結果を見せた。

5. 結論

本研究では高速線道床バラストの主な劣化要因を大型の装備下固め作業と累積通過トン数に仮定して現場実験と模型実験を遂行して次のような結論を得た。

1. 室内模型実験の場合、累積通過トン数の増加につき漸次的に粒度基準を離れて行った。破碎粒子の比率も 1 次関数の形で線型的に増加する傾向を見せた。

2. 室外実測実験の場合、道床下固め作業の回数の増加によるバラスト破碎粒子比率は、線型的な増加分布を見せた。決定係数は、0.9781 で非常に高いデータの相関関係を見せた。粒度分布試験の結果、道床バラストの粒度は、下固め作業回数の増加につき全粒子に対して漸増的に基準を離れる結果を見せた。これは、バラスト粒度の変化によって道床の支持力が弱体化し道床の寿命が短縮する可能性がある事を意味する。補修作業及び列車通過荷重によるバラスト粒度変化を 粒度基準に反影してより情密な品質管理が行われるべきである。

3. 実際の運行線上での試料を採取して細粒化程度を把握した結果、22.4mm 網を通過する破碎粒子比率は 8.46% であった。試料採取区間の補修履歴データ分析を通じて算出した各変数の値 ($N_1=29$ 回, $N_2=128$ 萬回) を実験モデル式に代入して得た結果値は 9.73% と言う良好な結果を見せた。

参 考 文 献

1. 韓国鉄道技術研究院(2000), “保線作業の機械化及び現代化計画樹立のための研究”, pp. 71~95.
2. ジョングンヨン, キムヒョンギ, イジョンドク(1999), “道床バラストの磨耗/破碎特性”, 韓国鉄道学会論文集, 題 2 券 題 3 号, pp. 61~69.
3. 鉄道庁(1998), “鉄道道床改良のための基礎研究”, 韓国鉄道技術研究院, 最終報告書, pp. 129~146.
4. KS F 2502(2005), “太いバラスト及び細いバラストの 粒度試験方法”.