トンネル微気圧波低減効果を向上するパイプ付き緩衝工の模型実験

JR 東日本 研究開発センター　正会員　○高桑　靖匡
JR 東日本 研究開発センター　フェロー　野澤伸一郎
鉄道総合技術研究所　飯田　雅宣
鉄道総合技術研究所　福田　傑

１．背景と目的

トンネル微気圧波(以下，微気圧波)を低減するため，地上施設に係る対策として従来からトンネル緩衝工(以下，緩衝工)が設置されている．従来からの緩衝工(以下，従来型緩衝工)は，微気圧波低減に一定の効果を発揮しているが，列車速度を向上させる場合には線路方向に延伸が必要で，用地取得や線路近接作業が多くなることから，工事費が増大することが欠点となっている．そこで，従来型緩衝工よりも短い長さで微気圧波低減効果を発揮させるために，図１に示すようなパイプを取り付けた緩衝工(以下，パイプ付き緩衝工)の開発に取り組んでいる[1)]．

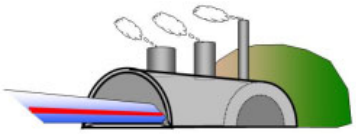

図１　パイプ付き緩衝工構想図

微気圧波の大きさは圧縮波の圧力勾配にほぼ比例する．図２に，緩衝工によるトンネル入口付近の圧縮波の圧力勾配低減効果を示す．トンネル入口付近の圧力は，高速列車のトンネル突入開始と同時に上昇し始め、突入完了により最大値に達するが，緩衝工は，トンネル入口での圧力勾配を小さくすることで，微気圧波低減に効果を発揮する．

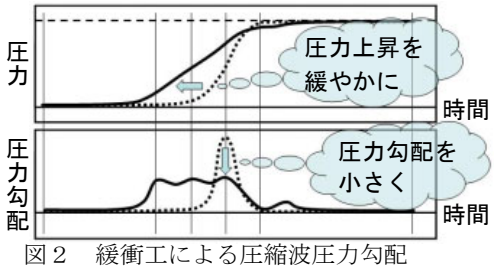

図２　緩衝工による圧縮波圧力勾配低減効果(概略図)

本実験は，緩衝工に取り付けるパイプを３本とし，太さや長さなどの組み合わせを様々に変化させた場合の圧縮波を測定して，パイプ付き緩衝工による圧縮波圧力勾配の制御の性状・仕組み・効果などを追究したものである．

２．実験概要

鉄道総研が所有する微気圧波模型実験装置を用い，縮尺 1/61.5 の模型で実験を行った．装置の概略を図３に示す．緩衝工は，実物換算で 90.9 ㎡に相当する 155 ㎜×155 ㎜の矩形断面で，これは内径 146 ㎜のトンネル本坑の 1.43 倍の大きさである．長さは実物に換算して 26.9ｍとなる 438 ㎜で，天板上の３箇所(入口方･中間･本坑方)にパイプが取り付けられるようになっている．また，左右両側面には，開閉調節の可能な開口部を３箇所ずつ設けてある．パイプは，内側寸法 18 ㎜×18 ㎜の単位パイプを多数用意し，図４に示す要領で任意に組み合わせて太さや長さの細かい変化を実現した．

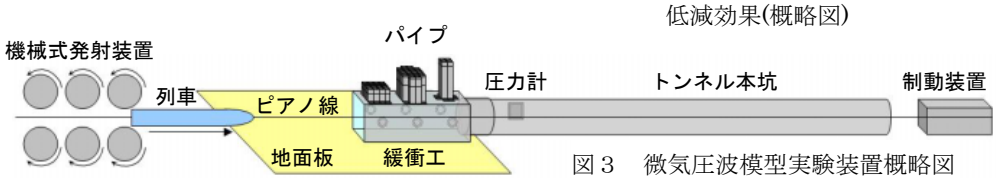

図３　微気圧波模型実験装置概略図

列車模型が機械式発射装置から高速で打ち出され，ピアノ線を伝って緩衝工・トンネル本坑に突入するとトンネル内に圧縮波が形成される．トンネル本坑内の入口付近に圧力計を設置しておき，列車模型のトンネル突入時の圧力を測定する．測定した圧力の時刻歴から圧力勾配を算出し，微気圧波低減効果を評価する．

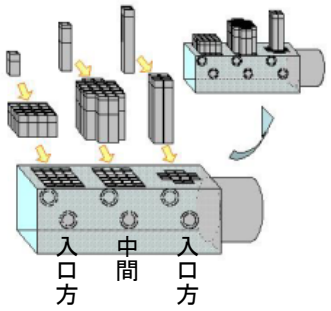

図４　単位パイプの緩衝工模型への取り付け要領

３．実験結果から得られたパイプ付き緩衝工に関する知見

(1) 圧力勾配制御の性状：　図５は，パイプ付き緩衝工がトンネル本坑内入口付近の圧力を制御する様子を表しており，緩衝工突入時の圧力勾配①，中間パイプから本坑方パイプへの通過時の圧力勾配②，トンネル本坑突入時の圧力勾配③，に強い影響を与えることが特徴である．

(2) 効果の特長：　図６に示すように，パイプ付き緩衝工は従来型緩衝工より圧力上昇を遅らせることがで

キーワード　トンネル微気圧波，トンネル緩衝工，圧力勾配，パイプ，模型実験
連絡先　〒331-8513　埼玉県さいたま市北区日進町２丁目０番地　JR 東日本研究開発センター　ＴＥＬ048-651-2552

きるが，これはパイプ内に圧力波のエネルギーを留めているためで，トンネル本坑突入以降の圧力上昇が大きくなる．圧力の最終的な上昇量は車両先頭部形状とトンネル突入速度が同じであれば緩衝工によらずほぼ一定であるので，パイプ付き緩衝工は同じ長さの従来型緩衝工より最大圧力勾配を小さくできる．

(3) 車両形状･列車速度による効果の違い：　図７で，左列の先頭部が短い従来型車両と，中列の先頭部が長く形状を改良した新型車両の圧力勾配波形を同じ 300km/ｈで比較してみると，新型車両は従来型車両よりも圧力勾配の最大値は小さくなり，変化が緩やかになった．車両先頭部形状が同一で，列車速度が 300km/h の中列と 360km/h の右列の圧力勾配波形を比較すると，列車速度の上昇に伴って圧力勾配の最大値は大きくなるが，変化の様子は類似することが見て取れる．

(4) 従来型緩衝工との効果の比較：　パイプ付き緩衝工の効果を，車両の種類・列車速度の条件別に，従来型緩衝工と比較してみると表１の通りである．パイプ付き緩衝工の圧力勾配低減効果は，同じ長さの従来型緩衝工より大きく，圧力勾配を従来型緩衝工の 85%程度に低減する．

(5) 効果の評価：　図７の中列と右列に示した３つの例において，360km/h の時の最大圧力勾配の値は 300km/h の時の 1.73～1.78 倍となっている．この値は，速度比の３乗（$(360/300)^3=1.73$）にほぼ等しく，従来の知見と一致する．圧力勾配を 85%に低減することは，３乗則で速度に換算すると，95%に減速することに相当する．また，現状の長さが 26.9ｍの緩衝工の場合，圧力勾配の大きさを 85%に低減するために必要な延伸量は，約７ｍと求められる．すなわち，本模型実験では，実物寸法が約 27ｍの緩衝工をパイプ付き緩衝工に改良すると，約７ｍ延伸した場合と同等の圧力勾配低減効果が得られたということになる．

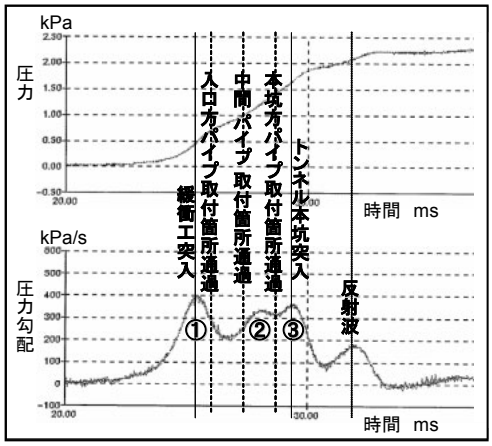

図５　パイプ付き緩衝工の圧力および圧力勾配波形の例

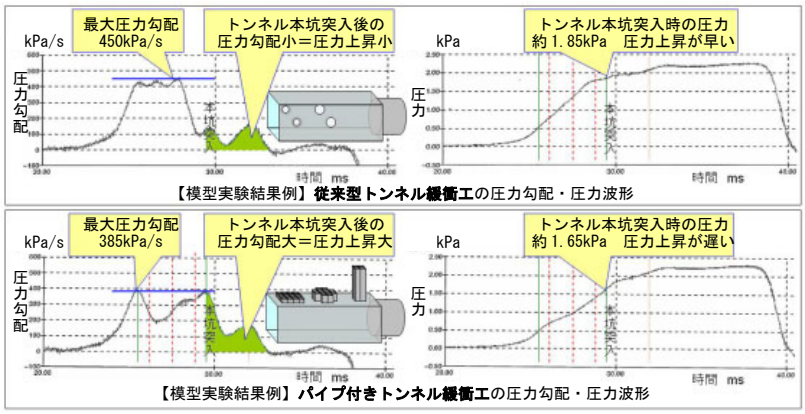

図６　パイプ付き緩衝工と従来型緩衝工の圧力･圧力勾配波形の比較

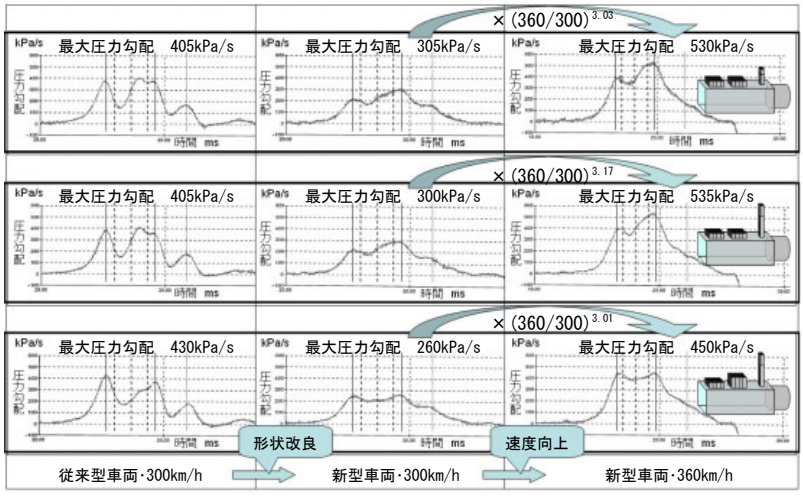

図７　車両先頭部形状･列車速度による効果の違い

表１　模型実験で実現した条件別の最大圧力勾配の最小値

車両種類	従来型車両	新型車両	新型車両
列車速度	300 km/h	300 km/h	360 km/h
従来型緩衝工　･･･ A	約 450 kPa/s	約 310 kPa/s	約 540 kPa/s
パイプ付き緩衝工 ･･･ B	約 385 kPa/s	約 260 kPa/s	約 450 kPa/s
B/A	86 %	84 %	83 %

４．今後の課題

本実験は，緩衝工の長さ約 27m，パイプ取り付け３箇所，という限られた条件の中で行ったものであるが，得られた知見は条件を拡大しても応用が可能と考えられる．今後，パイプ付き緩衝工の実用化のためには，緩衝工の長さなどの条件を拡大した場合や，実地における検証が課題となる．

参考文献　1)高桑靖匡，野澤伸一郎，飯田雅宣，福田傑：トンネル微気圧波を低減するパイプ付き緩衝工の模型実験，平成 16 年度土木学会全国大会第 59 回年次学術講演会，7-170，pp. 339-340，2004. 9