

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3739642号

(P3739642)

(45) 発行日 平成18年1月25日(2006.1.25)

(24) 登録日 平成17年11月11日(2005.11.11)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 M	9/06	(2006.01)	GO 1 M 9/06
E 2 1 D	9/14	(2006.01)	E 2 1 D 9/14
GO 1 M	9/08	(2006.01)	GO 1 M 9/08

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2000-271054 (P2000-271054)	(73) 特許権者	000173784 財団法人鉄道総合技術研究所 東京都国分寺市光町2丁目8番地38
(22) 出願日	平成12年9月7日(2000.9.7)	(74) 代理人	100089635 弁理士 清水 守
(65) 公開番号	特開2002-82013 (P2002-82013A)	(74) 代理人	100096426 弁理士 川合 誠
(43) 公開日	平成14年3月22日(2002.3.22)	(72) 発明者	田中 靖幸 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財 団法人 鉄道総合技術研究所内
審査請求日	平成15年2月20日(2003.2.20)	(72) 発明者	飯田 雅宣 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財 団法人 鉄道総合技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トンネル圧力波の模型実験方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

トンネル内部及びトンネル外部の圧力波に関する模型実験方法において、
全長の短い模型トンネルを使用して実験を行う場合に、模型列車の突入時にトンネル入口で形成される圧力波、及びその圧力波のトンネル出口での反射の影響を低減することにより、無限長又は半無限長のトンネルを容易に模擬することを特徴とするトンネル圧力波の模型実験方法。

【請求項2】

請求項1記載のトンネル圧力波の模型実験方法において、前記模型トンネルの入口側面にスリットを配置するとともに、前記模型トンネル内に圧力計及び又はトンネル出口近傍にマイクロホンを設置し、トンネル出口側で模型列車がトンネルから退出する際のトンネル内外の圧力波を測定することを特徴とするトンネル圧力波の模型実験方法。

【請求項3】

請求項1記載のトンネル圧力波の模型実験方法において、前記模型トンネル出口にオリフィスを配置するとともに、前記模型トンネル内に圧力計及び又はトンネル入口近傍にマイクロホンを設置し、トンネルの入口側で、模型列車がトンネルに突入する際のトンネル内外の圧力波を測定することを特徴とするトンネル圧力波の模型実験方法。

【請求項4】

請求項1記載のトンネル圧力波の模型実験方法において、前記模型トンネル入口に側面スリットを、前記模型トンネル出口にオリフィスを配置し、更に前記模型トンネル内に圧

10

20

力計を配置し、トンネル中間部で、模型列車がトンネル内の断面変化部を通過する際の圧力波を測定することを特徴とするトンネル圧力波の模型実験方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高速鉄道におけるトンネル圧力波の模型実験方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

列車がトンネル入口に突入すると、トンネル内には圧力波が形成され、この圧力波はトンネル内をほぼ音速で伝播する。そして、この圧力波が出口に到達すると、外部へパルス状の圧力波が放射され、低周波空気振動として観測される。このパルス状の圧力波は「トンネル微気圧波」と呼ばれ、トンネル内部の圧力波前面の圧力勾配にほぼ比例することが知られている。

10

【0003】

このトンネル微気圧波は列車速度の3乗に比例して大きくなり、坑口周辺で発破音が生じたり、家屋の建具をがたつかせるといった高速鉄道特有の環境問題になることがある。このような問題は、1975年の山陽新幹線岡山・博多間開業時より発生し、特に列車先頭部が突入する際に形成される圧縮波が、スラブ軌道の長いトンネル出口において大きなトンネル微気圧波を発生させていることがわかった。この現象解明及び低減対策法開発のため、現在までに多くの研究が行われてきた。

20

【0004】

図8はかかるトンネル微気圧波の発生現象の説明図である。

【0005】

この図に示すように、列車101がトンネル入口103に突入すると、圧縮波が形成され、その圧縮波はトンネル102内をほぼ音速で伝播し、この圧縮波がトンネル出口104へ到達すると、パルス状の圧力波を放射する。このパルス状の圧力波をトンネル微気圧波と呼ぶ。105はそのトンネル微気圧波の放射状態を示している。

【0006】

この研究開発の手段の一つとして、模型列車及び模型トンネルを用いて、列車のトンネル突入時の現象を模擬する模型実験が有効であり、現在も実施されている。模型実験において、トンネル微気圧波の現象で最も重要である、列車先頭部のトンネル入口突入の瞬間を捉えようとするれば、これに必要な模型トンネルはさほど長くする必要はなく、例えば60分の1程度の縮尺模型で、200～300km/h程度の速度で走行する列車を模擬する場合、模型列車の全長は約1m、模型トンネルの全長は約10m程度あれば十分である。

30

【0007】

ところで、列車とトンネルに関係する空気力学的現象としては、このトンネル微気圧波以外にも、トンネル突入時に入口から直接外部へパルス状の圧力波が放出される「トンネル突入波」や、退出時に出口から直接外部へパルス状の圧力波が放射される「トンネル退出波」、また器材坑や斜坑、トンネル中間駅といった、トンネル内部の断面変化部を列車が通過する際に圧力波が発生する現象など、多くの現象がある。これらはいずれも一般的にトンネル微気圧波よりも小さく、従来あまり問題となっていなかった。しかし、今後の列車の高速化や将来の浮上式鉄道の実用化により、トンネル微気圧波と同様の低周波空気振動問題を生じる可能性があり、その現象解明及び低減対策法の開発を行う必要がある。

40

【0008】

これら圧力波現象の研究開発のためには、トンネル微気圧波と同じように、前述の実験装置を用いた模型実験が有効な手段の一つと考えられる。

【0009】

図9はかかる従来の模型実験装置の一例の構成図である。

【0010】

50

この図において、201は模型列車、202は模型列車案内のためのピアノ線、203は発射装置、204は速度センサ、205は模型トンネル、206はその模型トンネル205に設けられた圧力計、207は制動装置である。

【0011】

図10はトンネル突入波・退出波の説明図である。

【0012】

この図に示すように、列車301がトンネル302に突入したとき、およびトンネル302から退出したとき、トンネル302内部だけではなくトンネル302の外側にも圧力波が形成され、周囲へ伝播していく。なお、303はトンネル入口、304はトンネル出口、305はそのトンネル突入波、306はそのトンネル退出波を示している。

10

【0013】

前述したように、トンネル突入波・退出波は一般にトンネル微気圧波よりも小さく、これまではあまり問題になっていなかった。しかしながら、今後の列車の高速化や将来の浮上式鉄道の実用化の際に問題となる恐れがあり、その現象解明および低減対策法の開発が必要となってきた。そのためのツールの一つとして、トンネル微気圧波に関しても行ってきた模型実験が考えられる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

これまでのトンネル微気圧波に対する研究は、前述のように、主に列車先頭部がトンネルへ突入する際に形成される圧縮波を対象としたものであった。よって、従来の模型実験も、模型列車の先頭部突入時の瞬間のみを捉えられれば十分であった。しかし今後研究すべきその他の圧力波現象は、先頭部から後尾部までの列車全長にわたる現象が重要であり、模型実験も従来のトンネル微気圧波に対するものと比べ、測定する時間を長くとる必要がある。ところが、従来トンネル微気圧波の研究で使用してきたような装置では、次のような問題点があった。

20

【0015】

図8に示したように、模型列車の突入時に模型トンネル内に形成された圧力波はほぼ音速で伝播し、模型トンネル出口でトンネル微気圧波を放射する。この時、トンネル内の圧力波は出口で反射（開口端反射）し、トンネル内を入口側へ戻っていく性質を持っている。すなわち、トンネル内の圧力波は入口と出口で何度も反射を繰り返しながらその間をほぼ音速で往復し、反射の度にトンネル微気圧波を放射することとなる。

30

【0016】

この性質のため、模型実験の際に例えば以下のようなことが起きる。

【0017】

(1) 出口において、列車がトンネルから退出する際のトンネル退出波を測定しようとした時、反射によるトンネル微気圧波が出口で短時間に何度も放射されるため、トンネル退出波の正確な測定に制約が生じる。

【0018】

(2) 入口において、列車がトンネルに突入する際のトンネル突入波を測定しようとした時、列車先頭部突入時の圧力波が出口で反射し、入口でトンネル微気圧波が放射されるため、長い模型列車を使用した実験では、列車全長が入口に突入し終える前に入口からトンネル微気圧波が放射され、トンネル突入波の正確な測定に制約が生じる。

40

【0019】

(3) トンネル中間部において、列車がトンネル内の断面変化部を通過する際に発生する圧力波を測定しようとした時、突入時の圧力波が往復しながらトンネル内に残っているため、通過する際に発生する圧力波の正確な測定に制約が生じる。

【0020】

上記(1)～(3)の問題をクリアするためには、模型トンネルの長さをできるだけ長くすることが望ましい。すなわちトンネル入口と出口との距離を大きくすれば、トンネル内の圧力波がその間を往復するのに時間を要するため、この圧力波の影響を受けない時間

50

的余裕が生まれ、対象とする現象を正確に測定しやすくなる。しかし、コストやスペースの制約上から、上記(1)～(3)の問題点を十分クリアするのに必要な長さを持つ実験装置を製作するのは容易ではない。

【0021】

よって、本発明は、従来トンネル微気圧波の研究で使用してきたような、比較的全長の短い模型トンネルを用いて実験を行う場合に、入口や出口のない半無限長又は無限長のトンネルを低コストで、しかも的確に模擬し、実験目的に応じた理想的な条件での実験が可能となるトンネル圧力波の模型実験方法を提供するものである。

【0022】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために、

(1) トンネル内部及びトンネル外部の圧力波に関する模型実験方法において、全長の短い模型トンネルを使用して実験を行う場合に、模型列車の突入時にトンネル入口で形成される圧力波、及びその圧力波のトンネル出口での反射の影響を低減することにより、無限長又は半無限長のトンネルを容易に模擬することを特徴とする。

10

【0023】

(2) 上記(1)記載のトンネル圧力波の模型実験方法において、前記模型トンネルの入口側面にスリットを配置するとともに、前記模型トンネル内に圧力計及び又はトンネル出口近傍にマイクロホンを配置し、トンネル出口側で模型列車がトンネルから退出する際のトンネル内外の圧力波を測定することを特徴とする。

20

【0024】

(3) 上記(1)記載のトンネル圧力波の模型実験方法において、前記模型トンネル出口にオリフィスを配置するとともに、前記模型トンネル内に圧力計及び又はトンネル入口近傍にマイクロホンを配置し、トンネルの入口側で、模型列車がトンネルに突入する際のトンネル内外の圧力波を測定することを特徴とする。

【0025】

(4) 上記(1)記載のトンネル圧力波の模型実験方法において、前記模型トンネル入口に側面スリットを、前記模型トンネル出口にオリフィスを配置し、更に前記模型トンネル内に圧力計を配置し、トンネル中間部で、模型列車がトンネル内の断面変化部を通過する際の圧力波を測定することを特徴とする。

30

【0026】

なお、本発明において、オリフィスとは、単一の穴を有する流通口のみならず、それと同程度の開口率(開口面積とトンネル断面積との比)を有する多孔板を用いた反射波低減効果を奏するものも含む広義の意味を有する。

【0027】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。

【0028】

図1は本発明の第1実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法を示す図である。この実施例では、トンネルの入口にスリットを設置し、トンネル出口付近のトンネル退出波を測定する。図1(a)は従来のスリットなし(無対策)のトンネルの坑口から外部へ放射される圧力波の測定例、図1(b)はトンネルの入口にスリットを設置した場合の坑口から外部へ放射される圧力波の測定例をそれぞれ示している。

40

【0029】

これらの図において、1は模型列車、2は発射装置、3は従来の模型トンネル、4は模型トンネル3に設けられる圧力計、5はマイクロホン、11は模型トンネル(入口側面スリット付き)、12はトンネル入口側面スリットである。

【0030】

図1(b)に示すように、トンネル入口側面に列車より十分長いスリット12を設置することにより、図2及び図3に示すように、列車突入時に模型トンネル11内に形成され

50

る圧力波前面の圧力勾配を大幅に緩和し、出口で放射されるトンネル微気圧波を低減することができる。これは入口のない半無限長トンネル内を走行する列車の条件を模擬できることとなり、例えば出口側で、列車がトンネルから退出する際のトンネル退出波を測定する実験を行うのに適している。

【0031】

図2には、図1におけるトンネル内の圧力計4で測定された、入口スリット12設置前後のトンネル内圧力波形が示されており、スリット12設置前の突入時圧力波前面の勾配(50~53ms付近)に比べ、スリット12があるときの圧力波前面の勾配(30~50ms付近)は大幅に緩和されている。

【0032】

図3は、図1におけるトンネル出口付近のマイクロホン5で測定された、入口スリット12設置前後の放射圧力波形である。模型列車1は出口を120~135ms付近に退出しているが、スリット12設置前は入口突入時に形成された圧力波によるトンネル微気圧波が、出口退出までの間に数度に渡り観測されている。しかしスリット12の設置によりこれらのトンネル微気圧波は大幅に低減し、出口退出時のトンネル退出波が正確に測定されていることが分かる。

【0033】

図4は本発明の第2実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法を示す図である。この実施例では、出口オリフィスを設置し、トンネル入口付近のトンネル突入波を測定する。図4(a)に従来のオリフィスなし(無対策)のトンネルの坑口から外部へ放射される圧力波の測定例、図4(b)はトンネルの出口にオリフィスを設置した場合の坑口から外部へ放射される圧力波の測定例をそれぞれ示している。

【0034】

図4(b)に示すように、模型トンネル21出口にオリフィス22を設置すれば、図5に示すように、模型列車1の突入時に模型トンネル21内に形成される圧力波が出口に達した際の開口端反射を大幅に低減することができる。これは出口のない半無限長トンネル内を走行する列車の条件を模擬できることとなり、例えばトンネル入口側で、列車がトンネルに突入する際のトンネル突入波を測定する実験を行うのに適している。

【0035】

図5では、図4における、模型トンネル21内の圧力計4で測定された、出口オリフィス22設置前後のトンネル内圧力波形が示されている。30~38ms付近の圧力波は入口突入時に形成されたものであり、出口オリフィス22設置により、反射波(48~56ms)が大幅に低減されている。これにより、反射波が入口に到達した際に放射されるトンネル微気圧波を大幅に低減することができる。

【0036】

図6は本発明の第3実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法を示す図であり、入口スリットと出口オリフィスの両方を設置し、トンネル中間部で、列車がトンネル内の断面変化部を通過する際の圧力波を測定するのに適している。この実施例では、図6(a)に従来のスリット・オリフィスなし(無対策)のトンネルの圧力波測定、図6(b)は模型トンネルに入口側面スリットと出口オリフィスを設置した場合の圧力波測定例をそれぞれ示している。

【0037】

図6(b)に示すように、模型トンネル31に入口側面スリット12と出口オリフィス22の両方を設置すれば、図7に示すように、入口、出口のない無限長トンネル内を走行する列車の条件を模擬できることとなり、例えばトンネル中間部で、列車がトンネル内の断面変化部を通過する際の圧力波を測定する実験を行うのに適している。なお、32はトンネル31に設けられる圧力計である。

【0038】

図7は、図6におけるトンネル31内の圧力計32で測定された、入口スリット12及び出口オリフィス22設置前後のトンネル内圧力波形を示している。ただし、この波形は

10

20

30

40

50

入口スリットと出口オリフィスの効果を明確にするため、枝坑等の断面変化部のない模型トンネルで測定したものである。入口スリット12設置により突入時の圧力波前面の勾配(22~25ms付近)は大幅に緩和され、また出口オリフィス22設置により、突入時の圧力波の開口端反射(52~58ms付近)も大幅に緩和されている。スリット・オリフィス設置前の58~64ms付近の圧力波は、52~58ms付近の圧力波がさらに入口で開口端反射したものであるが、これも当然ながら低減されている。なお28~35ms付近の圧力降下は、模型列車1が圧力計32の真横を通過した際に列車周りの負圧を捉えたものである。これは無限長トンネル中間部においても観測される基本的な現象の一つであり、本発明において緩和、低減の対象とすべきものではない。

【0039】

10

なお、出口オリフィスが圧力波の開口端反射を低減する効果は、その開口率によって決まり、場合によっては模型列車の断面積より小さくなることもあり得る。この場合、出口で模型列車はオリフィスと衝突することとなるが、例えば、入口側でのトンネル突入波の測定など、対象とする現象がこの衝突より前に測定されていれば、測定するデータ上は何の問題もない。ただし、衝突時に模型列車が破壊しないよう、オリフィスの材質を適当に選択するか、可能であればオリフィスを開閉式にし、模型列車が出口を通過する時のみその進路を開くようにしても良い。

【0040】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

20

【0041】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、高速鉄道におけるトンネル内部およびトンネル外部の圧力波を、全長の短い模型トンネルで、低いコストで、しかも的確に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法を示す図である。

【図2】 本発明の第1実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法による測定結果(その1)を示す図である。

【図3】 本発明の第1実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法による測定結果(その2)を示す図である。

30

【図4】 本発明の第2実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法を示す図である。

【図5】 本発明の第2実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法による測定結果を示す図である。

【図6】 本発明の第3実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法を示す図である。

【図7】 本発明の第3実施例を示すトンネル圧力波の模型実験方法による測定結果を示す図である。

【図8】 トンネル微気圧波の発生現象の説明図である。

【図9】 従来の模型実験装置の一例の構成図である。

【図10】 トンネル突入波・退出波の説明図である。

40

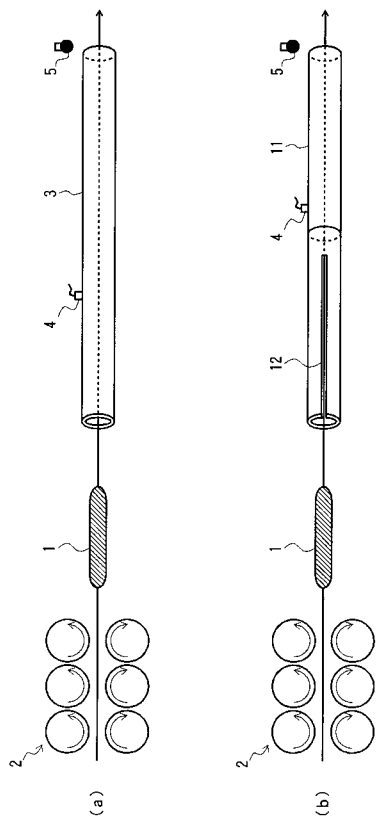
【符号の説明】

- 1 模型列車
- 2 発射装置
- 3 従来の模型トンネル(無対策)
- 4, 32 圧力計
- 5 マイクロホン
- 11 模型トンネル(入口側面スリット付き)
- 12 スリット
- 21 模型トンネル(出口オリフィス付き)
- 22 オリフィス

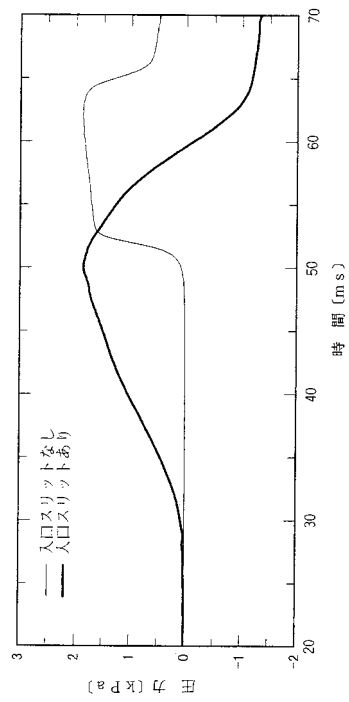
50

3 1 模型トンネル（入口側面スリット及び出口オリフィス付き）

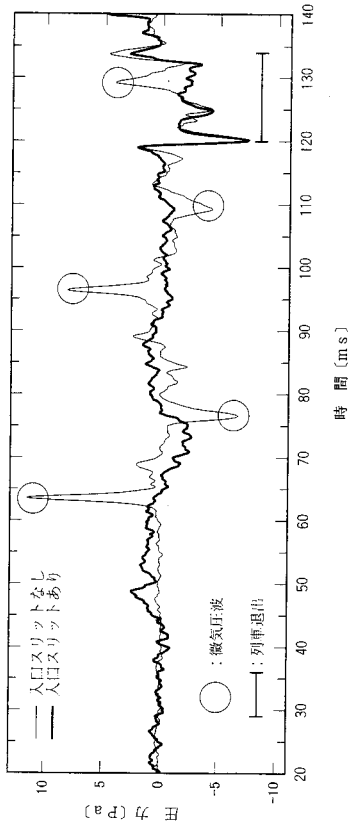
【 図 1 】



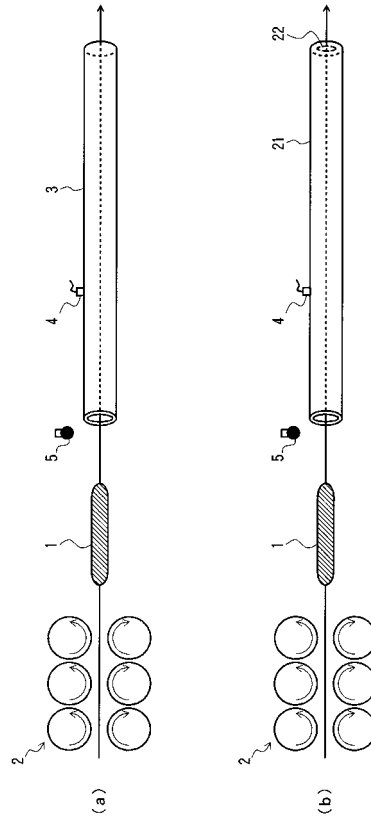
【 図 2 】



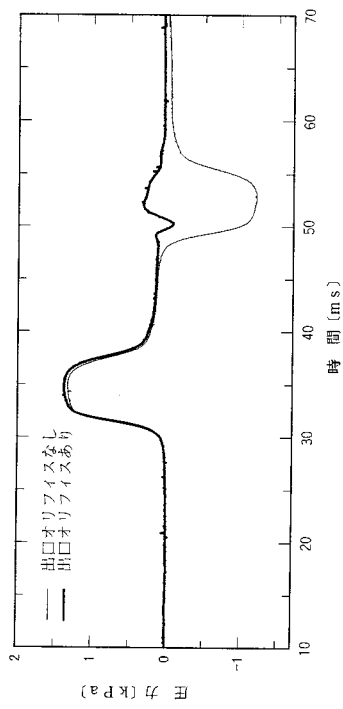
【図3】



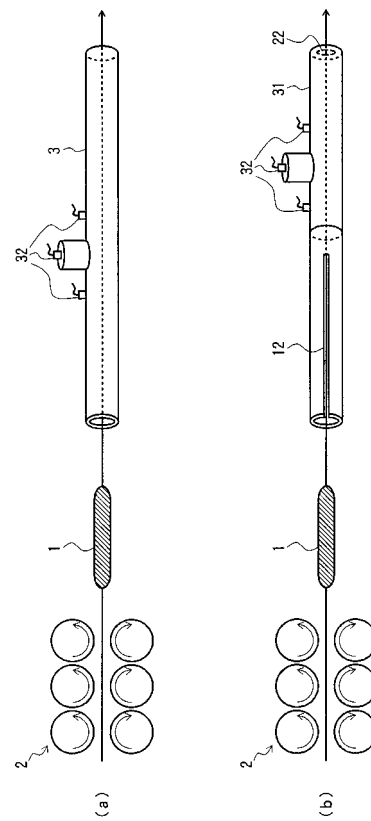
【図4】



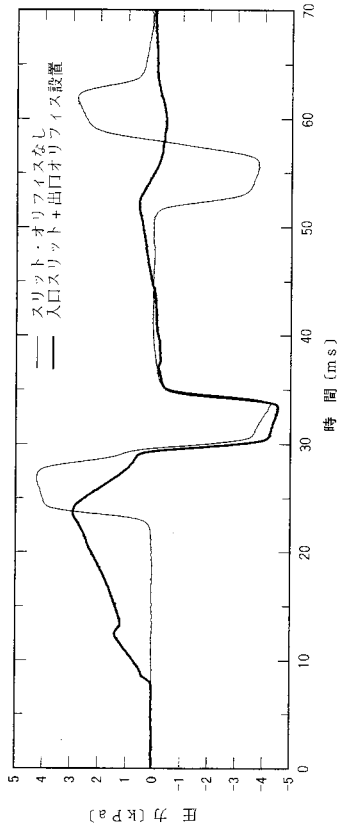
【図5】



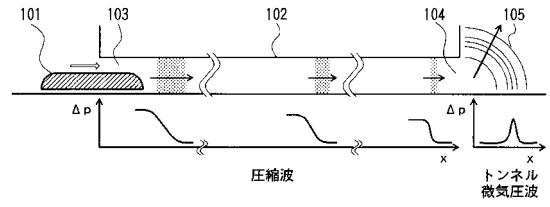
【図6】



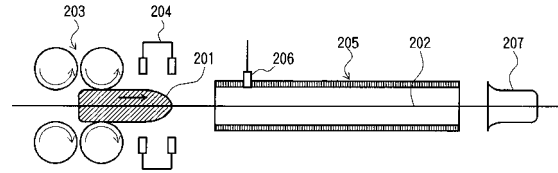
【 図 7 】



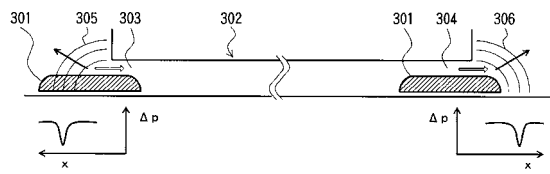
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

(72)発明者 福田 傑

東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財団法人 鉄道総合技術研究所内

審査官 本郷 徹

(56)参考文献 特開平07-151647(JP,A)

特開平10-317896(JP,A)

特開平07-247793(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 9/06

E21D 9/14

G01M 9/08