

腸骨荷重の3軸計測によるサブマリン現象の予兆検出

Predictive Technique for Seat Belt Submarining Injury by Triaxial Iliac Load Cell

前 原 一 範¹
Kazunori MAEHARA
伊 藤 重 雄²
Shigeo ITO

伏 見 匡 洋²
Masahiro FUSHIMI
三 上 秀 則²
Hidenori MIKAMI

有 馬 哲 寛²
Tetsuhiro ARIMA

要 旨

ABSTRACT

前面衝突試験における確認項目の一つである、サブマリン現象について、現象発生の予兆を一度の衝突試験にて検出することができれば、衝突安全性能の開発効率の向上に貢献できると考えられる。そこで、衝突ダミーの腸骨荷重計を3軸化し、腸骨前端部に加わるラップベルト拘束荷重の作用点の位置変化を算出することで、サブマリン現象の予兆とする手法を考案した。結果、サブマリン現象を意図的に発生させた前面衝突スレッド試験において、現象発生よりも手前の時間帯で、腸骨へ加わる荷重の作用点が腸骨前端部から上方へ向けて移動する様子が観察され、サブマリン現象の発生までの予兆を検出できるようになった。

Submarining is one of the confirmation items in the frontal crash test, and if signs of submarining can be grasped with a single crash test, it will contribute to increasing the development efficiency of crash safety performance. This study created a prototype of a triaxial iliac load cell for an anthropomorphic test device and devised a method for calculating the position change of the acting point of the seat belt restraint load applied to the front end of the ilium, as a sign of submarining. In frontal crash sled tests that intentionally generated submarining, the acting point of the load applied to the ilium was observed to move upward from the front end of the ilium in the time zone before submarining occurred. As a result, this enabled to detect the signs prior to the occurrence of submarining.

1. はじめに

日本の交通事故死者数は、第二次交通戦争と呼ばれている時代の1992年では、全体で11,452人、自動車乗員では4,783人であった⁽¹⁾が、この年を境に減少傾向が維持されてきた^{(2), (3)}。2019年の交通死者は全体で3,215人、自動車乗員では1,083人であった⁽³⁾。特に自動車乗員では減少率が77%と著しい。

この要因として、飲酒運転の罰則強化、交通インフラの整備、エアバッグやチャイルドシート等安全デバイスの普及、車両骨格の安全性向上等が挙げられる⁽²⁾が、シートベルト着用義務化に伴う着用率の向上^{(2), (4)}も、貢献要因の

一つとして挙げることができる。

しかし、一方で、本来乗員を保護すべきシートベルトが加害部位とされる外傷の報告⁽⁵⁾も散見されるようになってきた。これらはSeat belt injury⁽⁶⁾と呼ばれており、主に胸腹部において発生する⁽⁷⁾。

さらに、2018年の交通統計⁽⁸⁾から、自動車乗員における、全損と窒息溺死等を除く、損傷主部位別の死傷者の割合を比較すると、Fig. 1に示すように、腹部傷害は死亡重傷率が最も高い。このことから、今後さらに交通事故死傷者数を低減するために、シートベルトからの荷重入力による腹部傷害の発生に関する調査研究が継続的におこなわれている^{(9), (10)}。

¹ 先進技術研究所

² 本田技研工業株式会社

Seat belt injury が発生すると考えられている現象のうち、Fig. 2 に示すように、乗員の腰部を拘束するラップベルトが、本来の拘束位置である上前腸骨棘 (Anterior superior iliac spine: ASIS) の下側のくぼみ部分から、腸骨稜 (Iliac crest) の上方に移動して腸骨 (Ilium) から外れ、乗員の腹部を直接圧迫する現象のことを、サブマリン現象と言う⁽¹¹⁾。

前面衝突試験においては、衝突ダミー (Anthropomorphic Test Device: ATD) を用いて、このサブマリン現象の発生有無の確認がおこなわれている。この確認をおこなうために、衝突ダミーの腰部は、外表面の形状だけでなく内部の腸骨も、人体の形状を模擬した構造になっている。構造の例として、Fig. 3 に、小柄女性体格用の衝突ダミーである Hybrid III 5th percentile female (H-III 5F) ダミー⁽¹²⁾の腰部構造を示す。図示にあたり Humanetics 社製の有限要素モデル⁽¹³⁾を用いた。

また、サブマリン現象の発生有無の判定は、衝突ダミーの腸骨に組み込まれている腸骨荷重計 (Iliac load cell) の

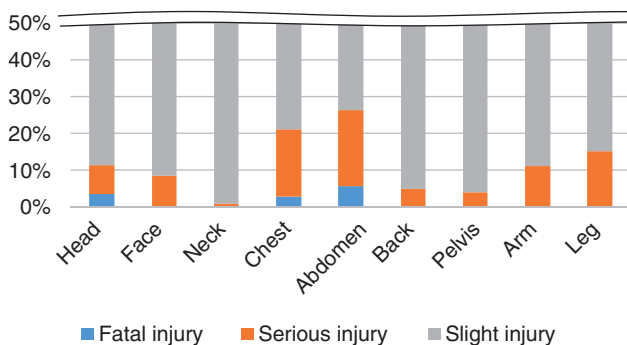


Fig. 1 Percentage of fatal, serious, and slight injuries of vehicle occupants by main injury site in Japan in 2018

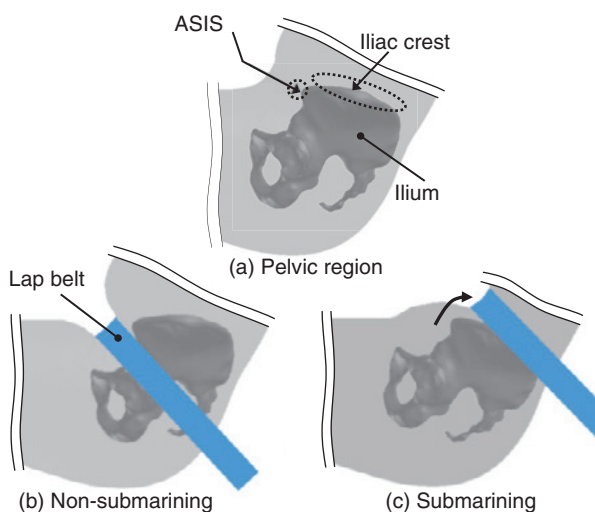


Fig. 2 Non-submarining and submarining

計測波形を用いておこなわれる。この荷重計は、Fig. 3 (a) のように、腸骨の ASIS の近傍部分に、左右合計二か所組み込まれている。ラップベルトが衝突ダミーの腸骨前方を拘束している間は、Fig. 3 (b) の荷重 F_x とモーメント M_y として相応の反力が発生する。一方、サブマリン現象が発生した場合は、ラップベルトが腸骨前方を拘束しなくなるため、これら F_x と M_y の大きさは急激に減少する。このことからサブマリン現象の発生有無が判定される。より詳細な判定方法については、欧州における衝突安全第三者評価 Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme) の技術公示 (Technical Bulletin) TB-021⁽¹⁴⁾ に定められている。

これらの計測荷重や判定方法からは、サブマリン現象の発生有無や、発生する瞬間を特定することができる。一方、サブマリン現象が発生しないケースにおいて、発生の予兆を何らかの物理量として定量的に検出することができない。そのため、サブマリン現象が発生しないことの確実性を担保するためには、衝突試験の繰り返しが必要となる。サブマリン現象の発生予兆の定量的検出を一度の衝突試験にておこなえる手法が考案できれば、衝突安全性能の開発効率を向上できる。

サブマリン現象の発生リスクを評価する目的で、2軸腸骨荷重計にて計測されるモーメント M_y を荷重 F_x で除する値を指標とすることが、Serra ら⁽¹⁵⁾により提案されている。しかしながらこの方法は、算出した値は長さの次元を表す物理量であるが、具体的に何の長さを示すのかの力学的説明が不十分である。また、Serra ら⁽¹⁵⁾は作成した指標を六例の衝突試験結果に当てはめて、サブマリン現象の発生有無の結果と合致しているかについての確認をおこなったが、サブマリン現象が発生したケースにおいて、何らかの予兆があったかどうかについては示していない。そのため、予兆を定量的に検出できる手法が求められる。

前述の通り、サブマリン現象が発生する直前には、腰部とラップベルトとの相対的な運動において、ラップベルトが ASIS の上方向へ移動する。それにともない、ラップベルトが腰部へ与える荷重の作用点の位置も、ASIS の上方

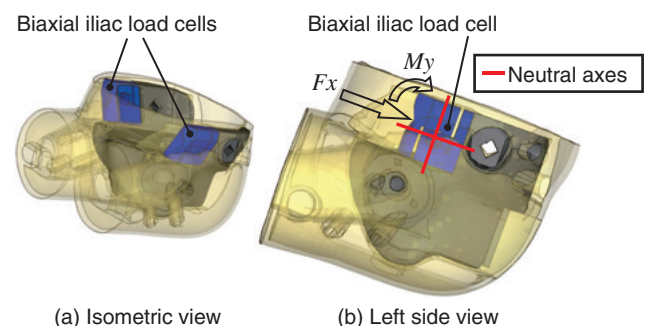


Fig. 3 Pelvis surface and pelvic bone of H-III 5F

向へ移動する様子が観察されることが、仮説として考えられる。

この作用点位置を直接計測する装置は、現在の衝突ダミーには搭載されていないため、腸骨荷重計の計測を用いて代替的に算出する方法を考案した。この算出には後述するが、Fig. 4 に示す ASIS が受けるラップベルト拘束荷重の水平成分 F_x と垂直成分 F_z 、およびモーメント M_y が必要である。しかしながら、現状の腸骨荷重計は、Fig. 3 (b) に示されるように、荷重 F_x 成分とモーメント M_y を計測する2軸の荷重計であり、 F_z 成分を計測できない。

そこで本研究では、従来の腸骨荷重計に、荷重 F_z 成分の計測を追加した3軸腸骨荷重計を試作した。また、サブマリン現象を意図的に発生させる前面衝突スレッド試験をおこない、ASIS に加わるラップベルト拘束荷重の作用点の位置変化を算出して、サブマリン現象の予兆を定量的に評価できるか検証をおこなった。

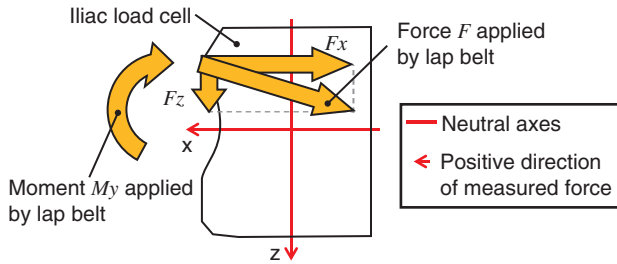


Fig. 4 Force and moment applied to iliac load cell by lap belt

2. 計測原理と検証方法

2.1. 衝突ダミーの種類の選定

本研究では、小柄な女性を模擬した衝突ダミーである H-III 5F ダミーを選定した。これは、より小柄である 5F ダミーのほうがサブマリン現象を起こしやすいことが報告⁽¹⁶⁾されており、体格が小柄であるほうが、ラップベルトの高さに対して ASIS の高さが相対的に低く位置することから、サブマリン現象が起きやすいと考えられたためである。

2.2. 3軸腸骨荷重計

H-III 5F ダミー用の3軸腸骨荷重計の試作は、日本キスラー株式会社に依頼した。Fig. 5 に、右側用の3軸腸骨荷重計の正面図と左側面図を示す。この荷重計は当該ダミーに標準で装備されている2軸腸骨荷重計と差し替えて装着できるようになっている。図中の赤線は荷重の計測軸であり、赤線の交点が荷重計測の中心である。

2.3. ラップベルト拘束荷重の作用点算出原理

Fig. 6 に、3軸腸骨荷重計が受けるラップベルト拘束荷重のベクトルと荷重作用点位置の模式図を示す。 F_x と F_z は、それぞれ荷重計の計測荷重の x 軸成分と z 軸成分であり、 F は F_x と F_z の合力である。 L_x と L_z は荷重計測中心点から見た作用点の位置のそれぞれ x 軸成分と z 軸成分である。

ラップベルト拘束荷重の作用点の位置を算出するにあたり、前提として、3軸腸骨荷重計が計測する荷重は全てラップベルトによる拘束力とし、荷重計の運動に起因する慣性力の影響は無視できるものとした。このとき、3軸腸骨荷重計で計測される荷重の成分 F_x および F_z と、モーメント M_y との間は、式 (1) の関係を持つ。

$$M_y = -L_z F_x + L_x F_z \quad (1)$$

ラップベルト拘束荷重の作用点は、腸骨荷重計の前側の表面上に位置する。この表面上を作用点が移動するとき、 L_x の変化は小さいことから、Fig. 7 に示す仮想平面上に作用点があると簡略化して考え、 L_x は Fig. 5 (b) の寸法 $L1$ に固定し、式 (2) を用いて、 L_z すなわちシートベルト拘束荷重の作用点高さを求める。

$$L_z = \frac{L_x F_z - M_y}{F_x} = \frac{L1 F_z - M_y}{F_x} \quad (2)$$

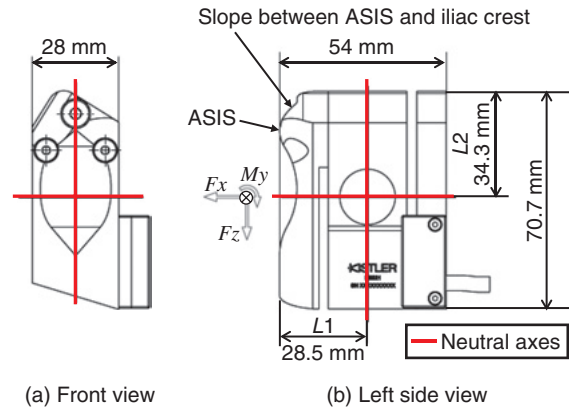


Fig. 5 Triaxial iliac load cell for right side

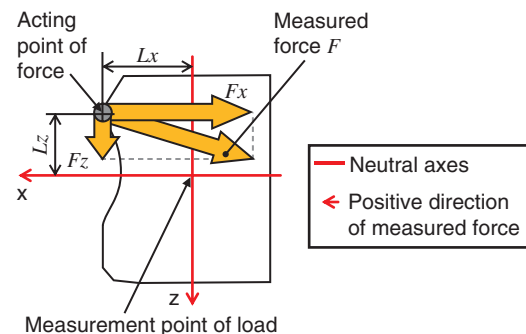


Fig. 6 Vector and acting point of measured force

ラップベルトは、腸骨荷重計の前側表面を拘束する。そのため、求めた作用点高さ L_z は、Fig. 5 (b) の寸法 L_2 を超えることはない。また、サブマリン現象が発生した場合、ラップベルトの拘束位置は上方に移動すると考えられる。そのため、 L_z が L_2 の値に近づく程、サブマリン現象発生の可能性が高まると捉えることにした。本研究では、この L_z を、サブマリン現象に対する予兆の判断材料とした。

2.4. 検証用前面衝突スレッド試験の条件

サブマリン現象の予兆の判断手法を検証するため、現象を意図的に発生させる条件を含めた三ケースの前面衝突を模擬するスレッド試験をおこなった。Fig. 8 に、実施したスレッド試験の試験前写真を示す。

試験は全て既存車両を想定した同一設定とし、右ハンドルの助手席にておこなった。衝突ダミーは試作した3軸腸骨荷重計を組み込んだ H-III 5F ダミーを使用した。Fig. 9 に、試験に用いた車両減速度のグラフを示す。初速度は、現象発生時の衝突ダミーの損傷を低減するため、50 km/h とした。減速度波形の形状は、サブマリン現象が発生しやすくさせるために、衝突の初期である 15 ms までに減速度が 20 g を超過しつつ、試験設備で再現可能となるよう調整した。サブマリン現象が発生しやすくさせるため、衝突ダミーの膝が接触し得るインストルメンタルパネル部品を取り外した。シートベルトは三点

式の物を用い、プリテンショナおよびロードリミッタが付属するシートベルトリトラクタを用いた。助手席 SRS (Supplemental restraint system) エアバッグは、想定車両と同一仕様の物を使用した。

今回の試験では、ラップベルトアンカーの高さを変更して前述の三ケースの試験条件を設定した。Fig. 10 に示すように、ラップベルトアンカーの高さがより高い方が、ラップベルトの中心線がより腸骨稜に近い位置を通ることから、ラップベルトが腸骨稜の上方に移動するサブマリン現象が、より発生しやすいと考えられたためである。

Fig. 11 に、衝突ダミーの着座時の腰基準位置 (Hip point: H.P.) から見た、ラップベルトアンカーの座標位置

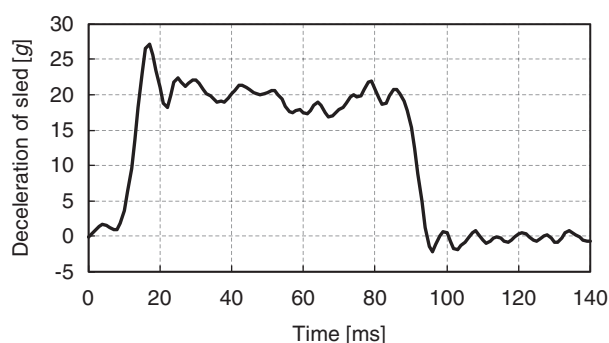


Fig. 9 Deceleration pulse of sled test

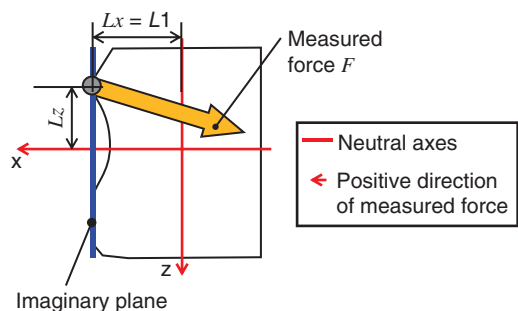


Fig. 7 Imaginary plane of acting point of load

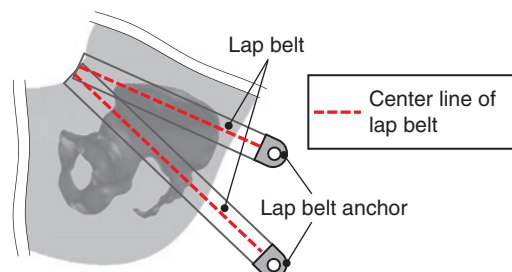


Fig. 10 Difference in lap belt position with respect to height of lap belt anchor

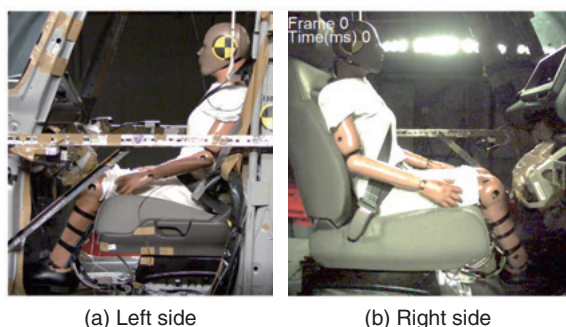


Fig. 8 Photos of sled test

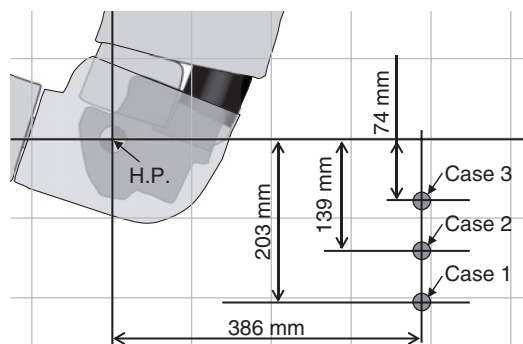


Fig. 11 Positions of lap belt anchor with respect to H.P. of ATD

を示す。Case 1 から 3 に向けて、ラップベルト外側アンカーの高さが順に高くなる設定とした。Case 1 ではサブマリン現象が発生せず、Case 3 では発生することを狙った。Case 2 では中間の高さとしているが、Case 1 よりもサブマリン現象発生の可能性が高くなることを狙った。

2.5. 検証手順

今回の試験において、サブマリン現象発生の有無に影響を与える条件差は、着座した衝突ダミーから見て左側に位置するラップベルトアンカーの高さであることから、左側の腸骨荷重とモーメントに着目した。

初めに、計測した腸骨荷重とモーメントの波形を確認し、スレッド試験三ケースそれぞれでのサブマリン現象の発生有無を確認した。

次に、ラップベルト拘束荷重の作用点高さ L_z を式 (2) により算出し、サブマリン現象発生有無との関係性を調べた。

最後に、計測荷重の大きさ、方向、作用点位置を同時に把握することを目的に、腸骨荷重計の計測ベクトルを、衝突ダミーの骨盤側面輪郭図の上に描画し、三ケースの試験それぞれでの比較確認をおこなった。

3. 検証結果

3.1. 3 軸腸骨荷重の計測波形とサブマリン現象発生状況

Fig. 12 から 14 に、スレッド試験三ケースにおける、左側腸骨荷重 (F_x , F_z) とモーメント (M_y) の時刻歴波形を示す。波形の極性は Fig. 5 の (b) に描かれている極性と同じく、 F_x は後方押し込みがマイナス、 F_z は下方向荷重がプラスとし、 M_y は腸骨荷重計を後転させる方向がプラスとした。Table 1 に、スレッド試験三ケースにおける、サブマリン現象発生の有無の一覧を示す。

サブマリン現象は、Case 3 においてのみ発生した。Case 3 では、52 ms を境に、 F_x , F_z , M_y の大きさがいずれも急激に減少したことが、Fig. 12 から 14 より読み取ることができた。

3.2. ラップベルト拘束荷重の作用点算出結果

Fig. 15 に、左側腸骨荷重計より算出したラップベルト拘束荷重の作用点高さ L_z の時刻歴波形を示す。

サブマリン現象が発生した Case 3 について、サブマリン現象発生の直前のタイミングである 52 ms にて L_z は 33 mm であり、Fig. 5 (b) の寸法 L_2 とほぼ同じ値となった。52 ms を超える時刻域については乱高下する値となったが、同時刻域での腸骨荷重は Fig. 12 から 14 を見るとほぼゼロになったことから、ラップベルトが腸骨を拘束しない時刻域では、 L_z は意味を成さないと考えられる。

同様のことが、サブマリン現象が発生しなかった Case 1

Table 1 Occurrence of submarining in each test

Test No.	Occurrence of submarining
Case 1	No
Case 2	No
Case 3	Yes

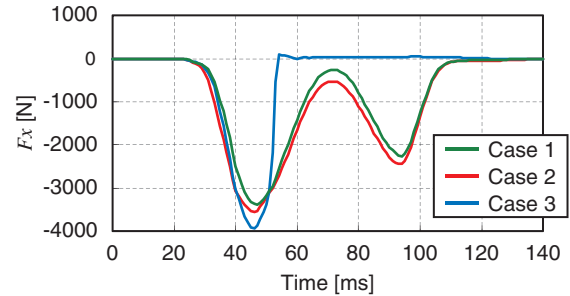


Fig. 12 Time history of longitudinal force F_x of left iliac load cell in each test

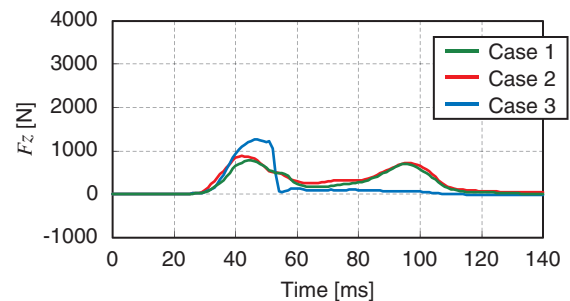


Fig. 13 Time history of vertical force F_z of left iliac load cell in each test

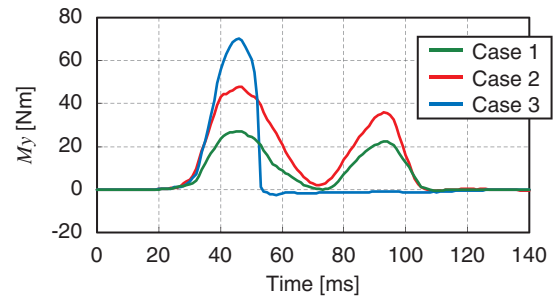


Fig. 14 Time history of moment M_y of left iliac load cell in each test

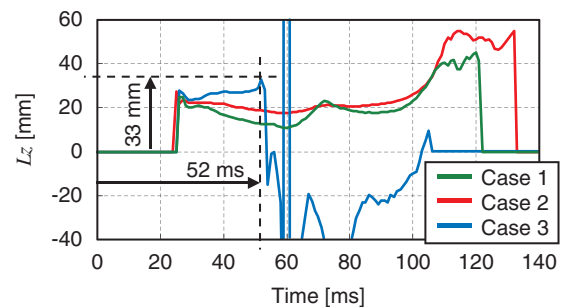


Fig. 15 Time history of height of load acting point L_z of left iliac load cell in each test

および2においても、ラップベルトが乗員を拘束する現象が終了する約100 ms以降にも当てはまる。

3.3. ラップベルト拘束荷重のベクトル可視化結果

Fig. 16 から 18 に、それぞれ 40 ms, 44 ms, 48 ms, 52 ms, 54 ms についての、スレッド試験三ケースにおける、左側腸骨荷重計によるラップベルト拘束荷重ベクトルを示す。荷重ベクトルは、衝突ダミーの骨盤輪郭の左側面図の上に重ね描く形で描画した。腸骨荷重計測中心の位置および荷重ベクトルの向きは、実物の腸骨荷重計の搭載位置を再現するように、骨盤輪郭図に対して位置合わせをおこ

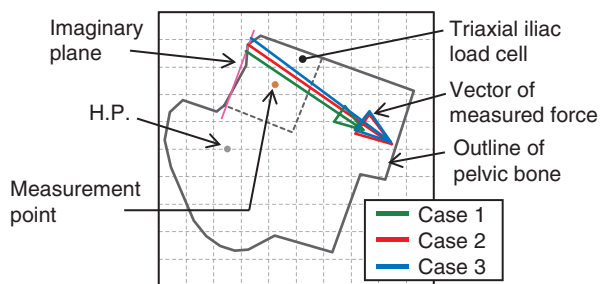


Fig. 16 Vector of restraint force acting on left iliac load cell at 40 ms

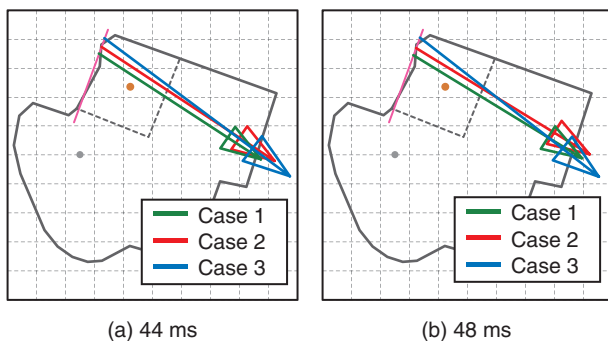


Fig. 17 Vector of restraint force acting on left iliac load cell at 44 and 48 ms

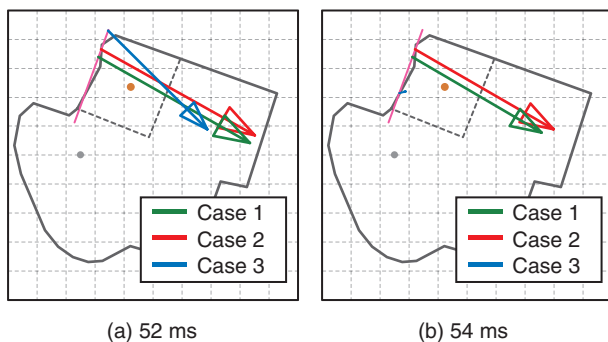


Fig. 18 Vector of restraint force acting on left iliac load cell at 52 and 54 ms

なった。なお、描画に際し、格子1目盛りあたり、寸法は20 mm、荷重ベクトルは500 Nで描画をし、骨盤輪郭図の角度は、衝突前の初期角度で固定した。

サブマリン現象が発生したCase 3において、サブマリン現象発生直前のタイミングである52 msに近づく程、ラップベルト拘束荷重の作用点が上昇し、52 msを超えると荷重ベクトルがほぼ消失する結果が得られた。また、特にサブマリン現象発生に近い48から52 msにおいて、拘束荷重ベクトルの向きが下向きに近づく様子が観察された。

サブマリン現象が発生しなかったCase 1および2においては、ラップベルト拘束荷重の作用点がASISと腸骨稜間の傾斜部の上端を超えることがなく、ASIS下方のくぼみ部分の周辺にとどまっている結果が得られた。

以上より、ラップベルト拘束荷重の作用点の上昇を観察することにより、サブマリン現象発生の予兆を検出することができた。

4. 考察

サブマリン現象が発生したCase 3において、ラップベルト拘束荷重のベクトルの向きが、前述の通り下向き寄りに変化をした。このことは、Fig. 11に示すように、Case 3はラップベルトアンカーの高さが三ケース中で最も高く、拘束荷重の方向はより水平に近くなると思われることに対して、一見反する結果のように思われる。この理由について考察する。

サブマリン現象が発生したCase 3において、Fig. 16 から 18 に示す通り、サブマリン現象発生直前の時刻域にて、ラップベルト拘束荷重の作用点位置は腸骨荷重計の上端近くへ上昇した。この時の作用点の高さ L_z をFig. 5の荷重計の形状に照らしてみると、ASISと腸骨稜間の傾斜部に位置したことがわかる。ここで、48から52 msでの、 F_x と F_z の変化に着目すると、 F_z の変化は少ない一方、 F_x は減少したことがわかる。これらのことから、この時刻域では、ラップベルトがASISと腸骨稜間の傾斜部に沿って滑ることで、 F_x 方向の拘束荷重が低下し、結果、ラップベルト拘束荷重のベクトルの向きが下向き寄りに変化をしたと推察される。

サブマリン現象の発生の予兆として捉えることができる物理量の候補として、ラップベルト拘束荷重の作用点高さ L_z のほかに、腸骨モーメント M_y を候補に挙げ、それぞれについて、予兆として捉えた際の有用性を考察する。

腸骨モーメント M_y について、Fig. 14に示す波形を見ると、46 ms近傍に存在するピークの値は、Case 1から3の順に大きくなっており、特にサブマリン現象が発生したCase 3にて大きな値となったため、一見サブマリン現象発生の予兆を測ることができるように思われる。しかしなが

ら Case 3 において、 M_y のピークの値は、サブマリン現象が発生するタイミングである 52 ms よりも手前の時刻で発生しており、サブマリン現象発生タイミングにおける M_y の値は、現象が発生しなかった Case 2 に近い値となった。そのため、腸骨モーメント M_y の波形に対し、サブマリン現象発生有無の境界線を設けることが容易ではない。

一方、ラップベルト拘束荷重の作用点高さ L_z について、まずサブマリン現象が発生した Case 3 において、前述の通り、 L_z が ASIS と腸骨稜間の傾斜部まで上昇した。このことにより、ラップベルトはこの傾斜に沿って、腸骨上側へ滑り抜けたと推察される。

続いて、サブマリン現象が発生しなかった Case 1 および 2 において、Fig. 16 から 18 より、 L_z は ASIS 下方にあるくぼみの間に位置していた。ラップベルトはこのくぼみに引っかかる形で腸骨を拘束することにより、サブマリン現象が発生しなかったと推察される。Case 2 では、 L_z がこのくぼみの上端である ASIS 近傍に位置しており、ばらつき等の何らかの理由で作用点がさらに上昇した場合、Case 3 と同様に、ラップベルトは ASIS と腸骨稜間の傾斜部に沿って腸骨上側へ滑り抜けることが予想され、サブマリン現象が発生しない L_z の上限は、ASIS の高さと同位置付近にあることが予想される。

以上より、ラップベルト拘束荷重の作用点高さ L_z を、ラップベルト拘束荷重が加わる ASIS の幾何学的形状と照らしながら時間連続的に観察することで、現象発生までの予兆をより定量的に検出できた。また、 L_z におけるサブマリン現象発生有無の境界線を、ASIS 周辺の腸骨形状と対比する形で設けることができると予想される。

ただし、本研究での試験は実施数が限られていることから、サブマリン現象が発生しない L_z の、具体的な上限値の設定は、今後の課題である。今後は、他の条件での試験を重ねていくことで、本研究での手法の信頼性と再現性を高めていきたい。

5. まとめ

本研究では、衝突ダミーにおけるサブマリン現象の発生までの予兆を検出する手法を構築することを目的に、下記内容を実施した。

- (1) 3 軸腸骨荷重計を試作し、ASIS に加わるラップベルト拘束荷重の作用点の高さ L_z を算出してこれを予兆の判断材料とする手法を考案した。
- (2) サブマリン現象を意図的に発生させる条件を含めた三ケースの前面衝突スレッド試験を実施し、 L_z の変化を、ASIS の形状に照らして比較と考察をおこなった。結果、以下の知見が得られた。
- (1) サブマリン現象が発生したケースにおいては、現象発生の直前の時刻域にて、 L_z が ASIS と腸骨稜間の傾斜

部まで上昇した。また、ラップベルトはこの傾斜部に沿って滑り抜けたと推察した。

- (2) 現象が発生しなかったケースにおいては、 L_z は ASIS 下方のくぼみ部分にとどまった。また、ラップベルトがこのくぼみに引っかかる形で腸骨を拘束することで、サブマリン現象が発生しなかったと推察した。

参考文献

- (1) 交通事故総合分析センター：交通統計 平成 5 年版 (1993)
- (2) https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou_haku/zenbun/genkyo/feature/feature_01.html (参照 2020.12.01)
- (3) <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html> (参照 2020.08.27)
- (4) <https://jaf.or.jp/-/media/1/2590/2610/2639/2653/sb2019.pdf> (参照 2020.11.03)
- (5) 太田智之、加納宣康、草薙洋、大橋正樹、葛西猛：シートベルトによる腹腔内臓器損傷に対する治療戦略、日本腹部救急医学会雑誌, Vol. 32(7), p. 1201-1207(2012)
- (6) Williams, J. S.: The Nature of Seat Belt Injuries, SAE Technical Paper, No. 700896(1970)
- (7) 篠原一彰、佐久間宏規：自動車事故の実態調査：自動車乗員の安全性とシートベルト、日本外傷学会雑誌, 13 巻, 1 号, p. 25-33(1999)
- (8) 交通事故総合分析センター：交通統計 平成 30 年版 (2018)
- (9) 中平祐子、渡辺功、岩本正実：外傷性腹部傷害解析のための小腸・腸間膜のモデル化技術の開発、自動車技術会論文集, Vol. 51, No. 2, p. 310-315(2020)
- (10) 古川大貴、志賀祐寛、増田光利、山本武司：前突スレッド時の次世代前突ダミー THOR 5F, 50M 腹部圧力センサの動的応答特性について、自動車技術会 2020 年秋季大会学術講演会予稿集, No. 20206296 (2020)
- (11) Towne, J. B., Coe, J. D.: Seat Belt Trauma of the Colon, The American Journal of Surgery, Volume 122, p. 683-685(1971)
- (12) Rhule, D. A., Backaitis, S.: Development and Evaluation of the Hybrid III Fifth Percentile Female Crash Test Dummy, NHTSA Docket No. 1998-4283-6(1998)
- (13) <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/virtual-models/frontal-impact-atd-virtual-models/hybrid-iii-5th-female-fe/hybrid-iii-5th> (参照 2020.10.02)
- (14) Euro NCAP: Data format and Injury Criteria

Calculation (Version 3.1), TB 021(2020)

- (15) Serra, M., Parera, N.: Study to Detect the Probability of Suffering Submarining, 自動車技術会 2019 年春季大会学術講演会予稿集, No. 20195100(2019)
- (16) Rouhana, S. W., Horsch, J. D., Kroell, C. K.: Assessment of Lap-Shoulder Belt Restraint Performance in Laboratory Testing, SAE Technical Paper, No. 892439(1989)

■ 著 者 ■



前原 一範



伏見 匡洋



有馬 哲寛



伊藤 重雄



三上 秀則