

3 . 金属片の材料分析

1) 目的

付着金属片の組成から用途を特定し、金属片の生成過程を明らかにするため、直轄国道において実施した緊急点検の結果確認された 4,537 個の金属片の一部について材料分析を行った。

2) 方法

対象とした金属片について、断面の組織観察、断面のSEM（走査型電子顕微鏡）による観察及びEDX定性分析、硬度測定を行い、組成、強度を明らかにすることによって、用途の特定と、断面の形状から金属片の生成過程についての考察を行った。

なお、国内自動車メーカーの乗用車部材として用いられる鋼材の性質は表 3 - 1 のとおりであり、用途の特定にあたっての参考とした。

表 3 - 1 国内自動車メーカーの乗用車部材の性質

	性 質
板厚	0.6mm ~ 1.0mm (極低炭素鋼) 低炭素鋼材では 2.0mm 程度のものである。
強度レベル	280MPa ~ 1500MPa (一般には 280MPa ~ 380MPa)
成分系	低炭素鋼 (0.02% ~ 0.2%) 極低炭素鋼 (0.02% 未満) S (0.02% 以下)、Cu (0.2% 以下)、Cr (0.2% 以下) P 添加 : 0.03% 以上、Ti、Nb 添加 : 0.01% 以上、V 添加 : 0.02% 以上 Al キルド : 0.01% 以上、Si キルド : 0.05% 以上
鋼種	キルド鋼 (外板) キルド鋼、リムド鋼 (付属品)

3) 材料分析 (その 1)

分析を行う金属片の抽出

確認された金属片の用途を特定するため、表 3 - 2 に示す考え方によって抽出した 102 個の金属片について材料分析を行った。金属片 (a) は、大宮国道事務所管内をケーススタディ地域として重点的な調査を行う観点から、(b) は金属片の特徴や道路状況による違いを明らかにする観点から、(c) は故意に付着させた金属片の存在する可能性について検討する観点からそれぞれ抽出したものである。

表 3 - 2 材料分析（その 1）で分析を行う金属片の抽出の考え方

名 称	抽出の考え方	個 数
金属片（ a ）	大宮国道事務所管内で確認された全ての金属片	51
金属片（ b ）	全国の直轄国道で確認された金属片から、付着場所、接触痕、形状、厚さ、塗料の有無に着目して抽出した金属片	40
金属片（ c ）	故意に付着させたと思われるような特異な特徴を有していると現場で判断された金属片	11
合 計		102

金属片（ a ）の材料分析結果

分析結果を表 3 - 3 に示す。

表 3 - 3 金属片（ a ）の材料分析結果

用途	個数
車両用（外板）	44
車両付帯部品（ミラー、モール等）	5
車両用（フェンダーパネル）	1
車両用（荷台側板固定フレーム）	1
計	51

用途は、車両用（外板）が 44 個、車両付帯部品（ミラー、モール等）が 5 個、車両用（フェンダーパネル）が 1 個、車両用（荷台側板固定フレーム）が 1 個と特定され、いずれも車両に用いられる部材であった。

また、金属片の破断状況は全て引張破壊によるものであった。

金属片（ b ）の材料分析結果

分析結果を表 3 - 4 に示す。

表 3 - 4 金属片（ b ）の材料分析結果

用途	個数
車両用（外板）	39
車両付帯部品	1
計	40

用途は、車両用の外板が 39 個、車両付帯部品が 1 個であると特定され、全て車両に用いられる部材であった。

また、金属片の破断状況は、全て引張破壊によるものであった。

金属片（c）の材料分析結果

分析結果を表 3 - 5 に示す。

表 3 - 5 金属片（c）の材料分析結果

用途	個数
車両用（外板）	9
車両用（バンパー）	1
車両用（給油口カバー）	1
計	11

用途は、車両用（外板）が 9 個、車両用（バンパー）が 1 個、車両用（給油口カバー）が 1 個と特定され、全て車両に用いられる部材であった。

また、金属片の破断状況は、全て引張破壊によるものであった。

4) 材料分析（その 2）

分析を行う金属片の抽出

材料分析（その 1）で分析を行った 102 個の金属片は、全て車両用の外板や車両付帯部品等であり、自動車に由来するものであった。このことから、確認された金属片に、自動車に由来するもの以外のものが存在する確率は極めて低く、金属片の大半は自動車に由来するものであると推定できる。

そこで、材料分析（その 2）では、自動車に由来するもの以外の金属片が存在する可能性について検討する観点から、表 3 - 6 に示す考え方に従って、自動車に由来するものとは考えにくい特徴を持つ金属片を重点的に抽出し、材料分析を行った。

表 3 - 6 材料分析（その 2）を行う金属片の抽出の考え方

名 称	抽出の考え方	個 数
金属片（d）	全国の直轄国道で確認された金属片のうち、外観から判断して自動車に由来するものとは考えにくい特徴を持つ 240 個の金属片のうち、国総研において状況の再確認・精査を行った結果、自動車に由来するものと確定できなかった金属片（金属片（c）と重複する 2 個を除く）	11

外観から判断して自動車に由来するものとは考えにくいと判断された 240 個について、再度、金属片の実物、現場の写真・図面をもとに、状況の再確認と自動車に由来するものかどうかの精査を行った結果、226 個は自動車に由来するものと判断できるものであった。また、金属片が他機関にあるために材料分析ができず確定できないものが 3 個あったが、写真等から車両によるものと推定されるものであった。残る 11 個について、材料分析を行った。

ここで、「外観から判断して自動車に由来するものとは考えにくい特徴」を持つ金属片の判断基準を表 3 - 7 に、「国総研で行った状況の再確認・精査」の判断基準を表 3 - 8 に、さらに金属片（d）に該当する 11 個を抽出した過程を表 3 - 9 に示す。

表 3 - 7 「外観から判断して自動車に由来するものとは考えにくい特徴」を持つ金属片の判断基準

<p>次のいずれかに該当するものを</p> <ul style="list-style-type: none"> ア) 金属片の差し込み側が人工的に加工されているようにみえるもの イ) 破断面が人工的に作られたように滑らかなもの ウ) 金属片の厚さが自動車鋼板と一致しないもの エ) 中央分離帯のある道路で継ぎ目に付着しているもの オ) その他特に現場が判断したもの
--

表3 - 8 自動車に由来するものと判断する基準

<p>次のいずれかに該当するもの</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属片の特徴が車両由来と類似と判断できるもの 具体的には、「接触痕あり」、「破断面が粗く形状が三角形」、「厚さが2.3mm以下」のうち2つ以上の条件に該当するもの。 ・金属片はないが、写真等から車両由来と類似と判断できるもの ・車両付帯部品と思われるもの（プラスチック等） ・付着場所を確認した結果、付着の可能性があるもの 具体的には、 中央分離帯がついていないもの 継ぎ目が逆になっているもの ボルト部や終点側端部継ぎ目に付着していたもの 中央分離帯のある道路で暫定2車線や対面通行の履歴があるもの

表3 - 9 金属片（d）の抽出過程

外観から判断して自動車に由来するとは考えにくいと判断された理由	該当数	再確認・精査の結果		
		自動車に由来すると判断したもの	確定できないもの	材料分析が必要と判断したもの
ア)金属片の差し込み側が人工的に加工されているように見えるもの	81	78	0	3
イ)破断面が人工的に作られたように滑らかなもの	61	57	3	1
ウ)金属片の厚さが自動車鋼板と一致しないもの	20	16	0	4
エ)中央分離帯のある道路で継ぎ目に付着しているもの	69	66	0	3
オ)その他特に現場が判断したもの	9	9	0	0
合計	240	226	3	11

金属片（d）の分析結果

分析結果を表3 - 6に示す。

表3 - 6 金属片（d）の材料分析結果

用途	個数
車両用（外板）	3
車両用（ドア下部）	2
車両用（下回り）	2
車両用（荷台）	1
車両用（付属品）	1
トラクター	1
視線誘導標の取付金具	1
計	11

用途は、車両用（外板）が3個、車両用（ドア下部）と車両用（下回り）が2個、車両用（荷台）、車両用（付属品）、トラクター、視線誘導標の取付金具がそれぞれ1個と特定され、視線誘導標の取付金具1個を除き車両に用いられる部材であった。

また、金属片の破断状況は、トラクターの1個が接触・落下によるものである以外は、全て引張破壊によるものであった。

5) まとめ

材料分析（その1）から、確認された金属片に自動車に由来するもの以外のものが存在する確率は極めて低く、金属片の大半は自動車に由来するものであると推定できた。さらに材料分析（その2）で、自動車に由来するとは考えにくい特徴を持つ金属片について分析を行った結果も、ほとんどは自動車に由来するものであることを示した。以上から、ほぼ全ての付着金属片は自動車に由来するものと考えられる。

また、金属片付着箇所の多くに防護柵への接触痕があることから自動車に由来するものであることがうかがえると同時に、形状が三角形、破断面が引張破壊により破壊といった共通した特徴から、付着の際に自動車が防護柵に接触していること及び金属片は強い引張力による破壊により発生していることが分かる。

このことから、付着金属片は、「車両が防護柵に接触して、車体がボルト

の頭又は継ぎ目に引っかかることにより、車体の一部が引きちぎられ、防護柵に付着する。」というメカニズムにより発生しているものと推定される。

4 . 現地調査

1) 目的

付着金属片が確認された箇所の自動車の接触痕の詳細な調査や道路状況の確認を行うことを目的として、調査委員会委員による実地の調査を行った。

2) 方法

日時・場所

平成 17 年 6 月 21 日 (火)

埼玉県内の付着金属片確認箇所

〔 国道 125 号行田市下須戸地先、行田市道第 4.3-334 号線行田市大字若小玉地先、主要地方道佐野行田線行田市小見地先、行田市道 5.3-276 号行田市谷郷地先、国道 17 号深谷市深谷地先、国道 17 号岡部町岡地先、関越自動車道川越 IC I ランプ、富士見川越有料道路 〕

方法

接触痕が無いと現場から報告のあった箇所では、ルーペの使用やボルトを外しての接触痕の確認などの詳細な調査を行った。また、付着箇所付近の道路状況、沿道状況の観察を行った。



写真 4 - 1 現地調査の様子

3) 結果

接触痕がないと現場から報告のあった場合でも、ルーペを用いて詳細に調査すると、かすかに自動車がこすった形跡を発見できる場合があった。

金属片が付着していたボルトを外して調査すると、ボルトの軸がボルトの頭に対して垂直方向から少し曲がっており、ボルトの軸の片側がつぶれている場合が見受けられる。これは、金属片が付着した際に、ボルトに何らかの

大きな力が作用した証拠であると考えられる。

また、金属片が付着していた端部の継ぎ目部のカバーを外して調査すると、防護柵に金属片が付着していた痕跡を発見できる場合があった。これは、金属片が継ぎ目部に差し込まれた際に、かなり大きな力が作用した証拠であると考えられる。

現地調査を行った箇所の道路状況（車線数、交通量等）、沿道状況（市街、郊外部の別等）は様々であったが、いずれの箇所も付着の原因が自動車の接触によるものであるとの説明に矛盾が生じるような要素は見られなかった。

このように、現地調査から得られた結果は、付着金属片の発生原因が自動車の接触によるものであるとの推定と矛盾するものではなかった。

5 . 室内実験

1) 目的

付着状況調査の結果から、防護柵に付着していた金属片の形状は、三角形のものがボルト部で82%、継ぎ目部で80%と、その多くに三角形であるという特徴が見られること、また、金属片の幅と長さについては、表5 - 1に示すとおりであることが分かった。

表5 - 1 金属片の幅及び長さの平均値 (再掲)

	幅	標準偏差	長さ	標準偏差
ボルト部	3.5cm	1.5cm	6.9cm	4.5cm
継ぎ目部	5.5cm	2.4cm	11.3cm	9.1cm

金属片の幅は、ボルト部の場合にはボルトの頭の直径3.3cmに、継ぎ目部の場合にはガードレールの凸面幅5~6cmに大きく依存しているものと思われる。

一方、金属片の長さについては、金属片の幅に比べると標準偏差が大きく、特に継ぎ目部に付着する金属片の長さはばらつきが大きい。

そこで、付着金属片に多く見られる特徴である三角形の形状が、引張破壊により生成されることを確認し、金属片の形状に影響する要因を明らかにするため、車両に用いられる鋼板を材料とする試験片を供試体として、引張試験機により破壊する実験を行った。

さらに、より実際の条件に近い状態での状況を確認するため、実車のドアパネルを供試体として、同様の実験を行った。

2) 方法

試験片の引張実験

幅120mm、長さ400mm、厚さ0.7mmの車体外板用の合金化溶融亜鉛めっき軟鋼板を、短辺側端部に長さ40mmのスリットをガードレールの凸面幅に合わせた45mm間隔で2本入れ、中央部を折り曲げ加工したものを供試体として用いた。(写真5 - 1)



写真5 - 1 実験に用いた供試体

実験では、供試体の両端を固定して、中央の折り曲げた部分を表5 - 2に示す実験条件で引張を行った。試験片の引き裂き状況は高速ビデオ（13,500コマ/秒）で撮影し観察した。

表5 - 2 実験条件

実験 No.	引張速度(km/ h)
No.1	静的 (0.018)
No.2	12.6
No.3	
No.4	27.7
No.5	
No.6	
No.7	
No.8	47.0
No.9	

ドアパネルの引張実験

実車から外した前部ドアパネル1～3の3体を供試体として、引張実験を行った。ドアパネルには、ガードレールの継ぎ目に引っ掛かった状態を再現するため、アウター側進行方向先端部に、ガードレールの凸面幅に合わせた45mmの間隔で深さ20mm程度の切り込みを入れ、その部分を板材で押さえボルト締めし、引張試験機により引っ張った。

実験の結果生じる金属片の形状を観察するとともに、引張時の荷重を測定した。



写真5 - 2 ドアパネル供試体

3) 結果

試験片の引張実験

実験の状況を写真5-3に、破断形態や試験片外観等の実験結果を表5-3に示す。また、引張速度と金属片の長さの関係を図5-1に示す。



写真5-3 実験の状況

表5-3 実験結果

実験 No.	速度(km/ h)	破断形態	長辺 (mm)	短辺 (mm)
No.1	0.018	三角形	210	45
No.2	12.6	三角形	120	45
No.3		三角形	130	50
No.4	27.7	三角形	150	45
No.5		三角形	110	45
No.6		三角形	170	50
No.7		三角形	150	45
No.8	47.0	三角形	>165	47
No.9		三角形	>170	47

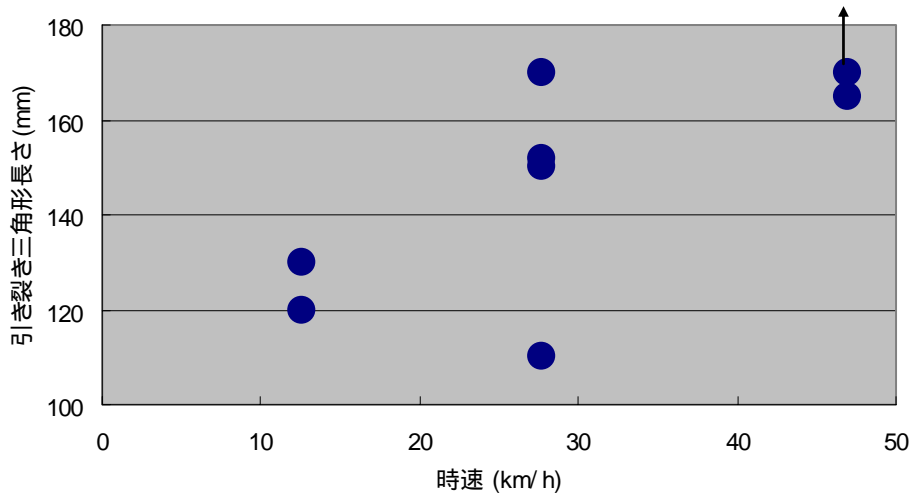


図 5 - 1 引張速度と金属片の長さの関係

いずれも引っ張りの進展に伴い幅が縮小し、最終的には三角形状に破断して分離した。また、三角形の長さと言張速度の関係は、ばらつきがあるものの、速度増加に伴い三角形長さは増加する傾向が見られた。

ドアパネルの引張実験

引張実験により生じた金属片の外観を写真 5 - 4 に示す。いずれも引張の進展に伴い幅が縮小し、最終的には三角形状に破断して分離した。三角形の長さはそれぞれ 145、145、165mm であった。

実験時の変位 - 荷重曲線を図 5 - 2 に示す。いずれも引張初期に高荷重を示し、引張の進行に伴い荷重が低下している。最大荷重はドアパネル 1 でおよそ 1.0kN、ドアパネル 2、3 では 1.4~1.5kN 程度であり、いずれも三角形状の金属片が形成されるに伴い加重も徐々に低下し、最終的には約 0.5kN で破断している。

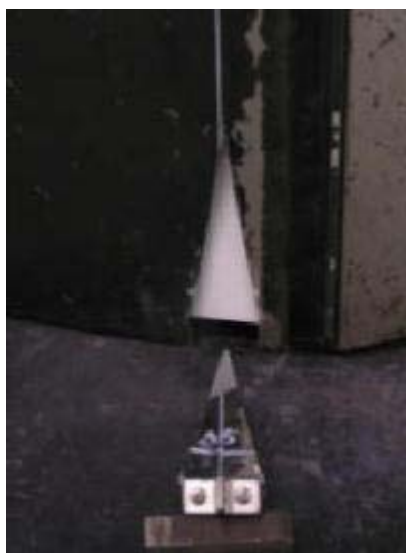
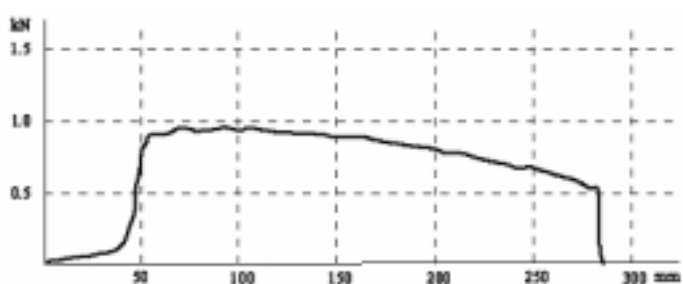
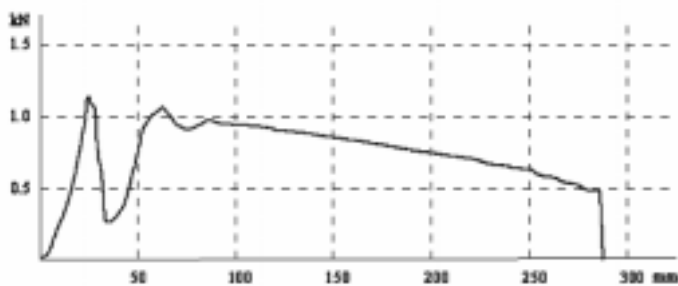


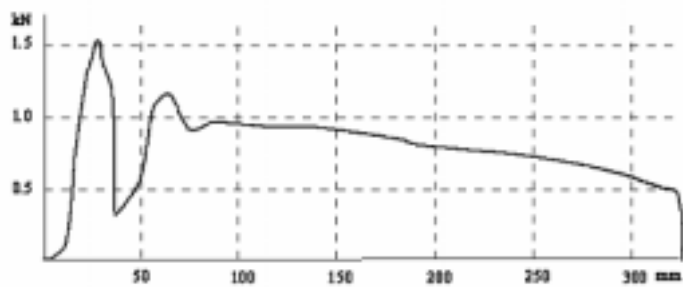
写真 5 - 4 ドアパネルの引張実験により生じた金属片



ドアパネル 1



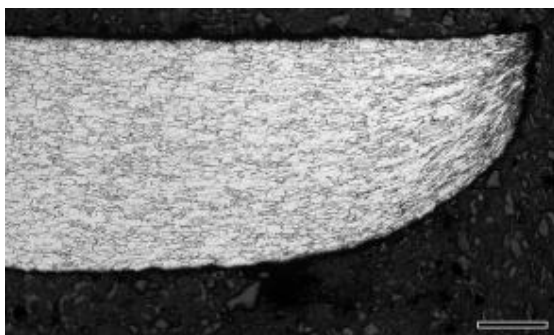
ドアパネル 2



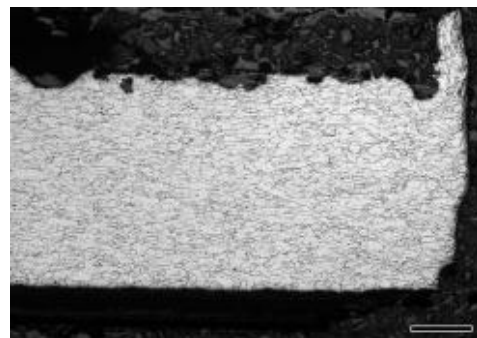
ドアパネル 3

図 5 - 2 変位 - 荷重曲線

引き裂き部断面破断形状確認のためドアパネル1の引き裂き後三角形の先端部（引き裂き破断）と鋸切断したへム部（ドア端部でドアアウターパネルを折り曲げ、インナーパネルを挟み込んで一体化）の断面組織観察結果を写真5 - 5に示す。引き裂き破断部は板厚が徐々に薄くなると同時に結晶組織も破断部に向かい伸展した形態を示す。一方鋸切断した断面では破断部の絞り（板厚の減少）はなく、直角に切断している。



引張破壊



鋸切断

写真5 - 5 ドアパネル1の切断面組織

まとめ

試験片の引張実験、ドアパネル実験のいずれの結果からも、付着金属片の多くに共通してみられる三角形の形状は引張破壊により発生することが確認された。

また、試験片の引張実験の結果から、三角形の長さと引張速度の関係は、ばらつきがあるものの、速度増加に伴い三角形長さは増加する傾向を示すことが分かった。

また、ドアパネル実験の結果から、金属片を引張により破壊するためには、1.0～1.50kN程度の力が必要であることが分かった。