

衝撃強さと A E 発生 の 相 関 に つ い て (第 2 報)

市瀬 辰己 岩井 保善 谷口 幸典 尾崎 充紀

Correlation between Impact Strength and Acoustic Emission Events (2)

Tatsumi ICHISE, Yasuyoshi IWAI, Yukinori TANIGUCHI and Mitsunori OZAKI

In this study, several impact tests were carried out to investigate the relation between impact strength and Acoustic Emission (AE) events by using carbon steel.

It was found that (1) the cold brittleness showed remarkably in the range of $-80^{\circ}\text{C} \sim -130^{\circ}\text{C}$ in this experiment; (2) AE cumulative counts varied largely under the lower temperature as the ductile-brittle transition range; (3) AE cumulative counts were not dependent on Charpy impact strength and the ratio of brittle fracture surface under the lower temperature range; (4) there were good correlation between the AE cumulative counts and the distance of the impact loading position.

1. 緒 言

高度成長期に建設された橋梁・建築物および機械構造物等の建造物は、工業技術の進歩とともに著しい発展を遂げ、現在も数多くの建造物が使用されている。しかし、それら建造物には、永年の疲労や地震などの影響で、亀裂をはじめ様々な損傷が進行し、高架やトンネル内のコンクリート崩落事故および建造物の倒壊事故などが記憶に新しく、これら損傷の原因究明とともに早期発見が重要視されている。その検査方法のひとつに A E (Acoustic Emission) 法がある¹⁾。A E とは、固体が変形もしくは破壊するとき、それまで蓄えられていたひずみエネルギーが解放され、弾性波として伝播していく現象である。

従来、A E を用いた材料破壊現象の研究では、引張り・曲げおよび遅れ破壊など静的試験時における塑性変形や、亀裂進展挙動と A E との相関性について多く報告されている^{2~4)}。一方、最近では A E 計測技術の向上に伴い、衝撃破壊をはじめ、動的に成長しつつある危険な内部欠陥や亀裂の検出ができる新たな非破壊検査法としても注目を集め期待されている。

前報⁵⁾では、機械構造物などの損傷発生の検知に A E 計測技術を応用することを研究目的とし、高張力鋼 (Cr-Mo 鋼) を用い、衝撃荷重が作用した場合の A E

発生現象について基礎的実験を行った。その結果、衝撃強さと A E 発生数とに一定の相関性を確かめている。

そこで本研究では、引続き衝撃破壊時における A E 特性を調べるために極低温から常温付近までの低温状態での衝撃試験を行うとともに、鋼性の長尺エクステリア材に一定の距離から鋼球を自由落下させたとき、A E センサと衝撃点間の A E 発生に及ぼす距離の影響について実験的検討を行ったので併せて報告する。

2. 実験方法

2.1 材料および衝撃試験片

本実験に用いた低温衝撃試験片の材料は、一般構造用圧延鋼材 SS400 であり、試験片形状は、図 1 に示すとおり片側一辺の中央に深さ 2 mm の U 字切欠きを有する JIS 3 号試験片を採用した。熱処理は試験片を機械加工の後、 900°C 、2 hr の焼なまし処理を施した。

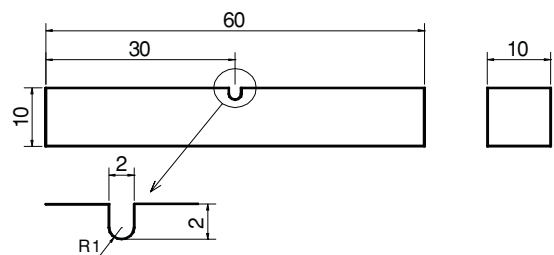


図 1 衝撃試験片の形状

2.2 衝撃試験とAE計測

本研究での衝撃試験には、森試験機製作所製シャルピー衝撃試験機（JIS B 7722：振子質量24.961kg、振子長さ750.4mm、持上げ角度146°）を用いた。なお、低温下での衝撃試験は、あらかじめ試験片を液体窒素（-196℃）の中で5分間浸したのち、種々の時間空气中に放置後、-180℃～20℃の各温度で試験を行った。また、温度測定は同じ条件で5回繰り返し、その平均値を採用した。

衝撃破壊時に発生するAE計測は、試験片近傍の試験機本体に固定された、AEセンサで電気信号に変換され、プリアンプで増幅後、ディスクリミネータにより取り出されたAE発生総数をトータルカウンタで経過し、ペンレコーダに記録した。図2にAE計測装置の概略を示す。

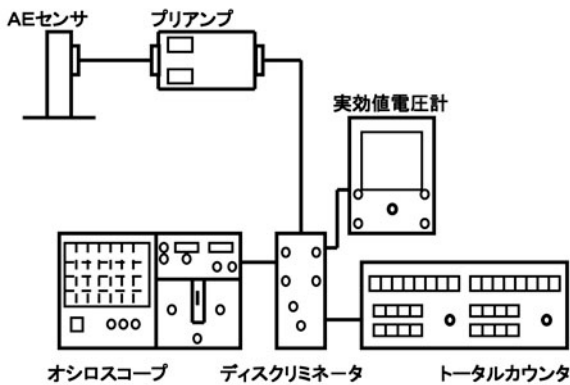


図2 AE計測装置の概略

また、AE発生と衝撃距離の関係を調べるため、本校機械工学科棟のペランダに設置の鋼製手すりを用いて実験を行った。手すりの一端にマグネットゴムを装着したAEセンサを設置し、重さ8.3gの鋼球を自由落下させ衝撃エネルギーを与えた場合のAEセンサ・衝撃点間距離（以下測定距離とする）とAE検出数との関係を調べた。測定距離は10mの位置から最長60mの位置まで10mおきに測定を行った。また、落下高さは1mと0.5mの二種類とし、各位置での測定を5回行い、その平均値を採用した。

3. 実験結果および考察

図3は試験片冷却後の試験片温度と室内放置時間の関係を示す。試験片は5分間液体窒素に浸すことで約-190℃に冷却され、放置後はおよそ60秒以内に急激な温度上昇を示し、その後はなだらかな上昇傾向を示すことがわかった。

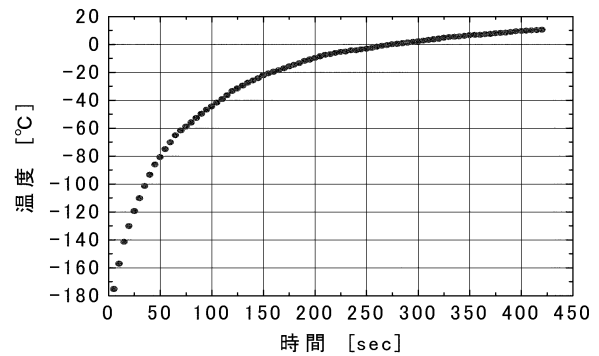


図3 時間と試験片温度

シャルピー衝撃試験における破断時の試験片温度とシャルピー衝撃値の関係を図4に示す。シャルピー衝撃値は各温度で3回実験を行い、その平均値を採用したものである。

図より、-130℃以下の極低温部でのシャルピー衝撃値は約25J/cm²の一定の値を示した。一方、-130℃から-80℃付近では急激な立ち上がりが見られ、シャルピー衝撃値は高くなっていることから、この温度範囲が低温脆性を示す遷移領域であることが確認できる。この結果はbcc構造を有する金属材料、特に普通の鉄鋼材料の一般的傾向とほぼ一致する⁶⁾。また、常温付近では200J/cm²前後の値を示すことが認められた。

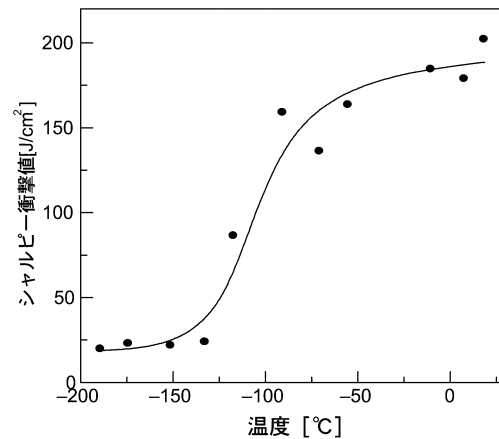


図4 温度とシャルピー衝撃値の関係

図5にシャルピー衝撃試験を行った試験片破断面の写真を示す。破断面下部は切欠き部（2mm）であり、それぞれの数値は脆性破面率を示す。ここで脆性破面率とは、脆性破面の面積を断面積で除したものである。

図中で、脆性破面は破断面表面の細かい粒状の平坦な部分であり、試験片温度が-130℃以上の破断面の両側には、延性破断を示すshear lipが認められる⁷⁾。また、

脆性破面は切欠き部と反対側に見られた。これより、破壊の進行は応力集中部の切欠き底部で、むしろ延性的に進行し、破壊の後半で脆性的に破断したものと考えられる。このため、脆性破面率が100%以外の試験片では延性破壊による変形が見られたが、脆性破面率100%の試験片では、試験片断面がほぼ正方形を呈し、変形することなく破断されているのがわかる。

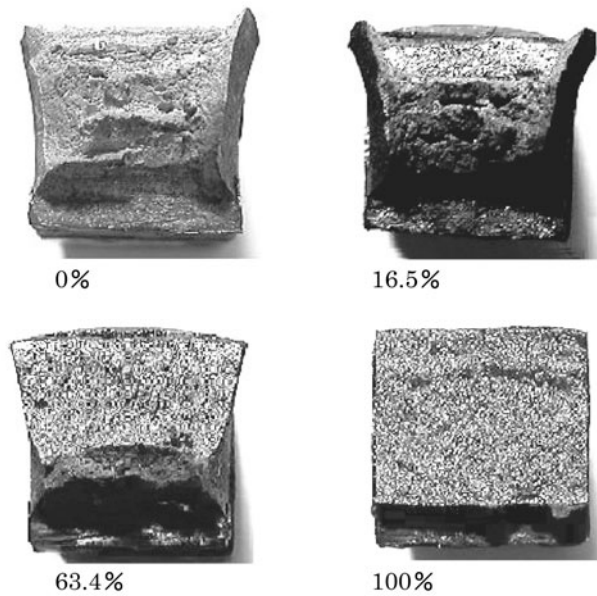


図5 衝撃破断面（脆性破面）

図6に試験片温度とシャルピー衝撃値および破断した試験片の脆性破面率との関係を示す。図より、シャルピー衝撃値と脆性破面率にはよい相関性が確認され、本研究に用いた試験材料の遷移領域が $-130^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$ 付近であることが脆性破面率からも確かめられた。

図7は、試験片温度と衝撃破断時に発生するAEの関係を示したものである。シャルピー衝撃試験により計測した試験片破断時のAE発生数の各点は、それぞれ3回ずつ実験を行った平均値を示してある。

図より、多少のばらつきはあるが -150°C 以下の極低温部ではAE検出数は急激な減少傾向を示し、遷移領域内ではAE検出数が最大値2500~3000[count]を示すことが認められた。以上より、低温領域で衝撃破壊時に発生するAEは衝撃値に依存しないものと考えられる。

次に、AEセンサと衝撃点間距離とAE発生数との関係を図8に示す。本実験は、重さ8.3gの鋼球を0.5mおよび1.0mの高さから落下衝突させたときに発生するAE数を測定したものである。図より、鋼球の落下位置（衝撃点）がAE検出位置より20m以内では、AE発生数に大きな差異は認められず、落下高さすなわち衝撃エネルギーの影響が少ないことがわかる。しかし、衝撃点が

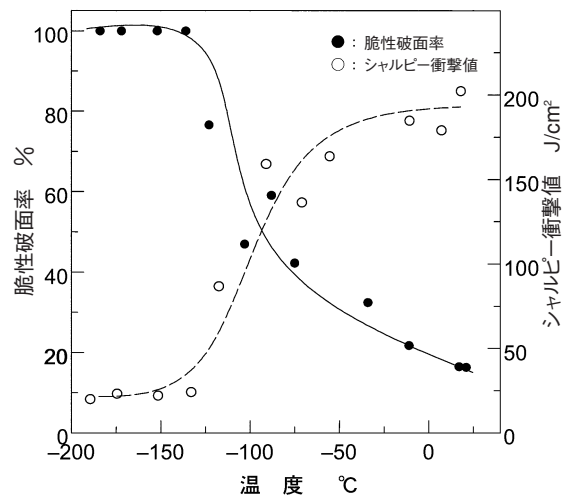


図6 温度と衝撃値・脆性破面率の関係

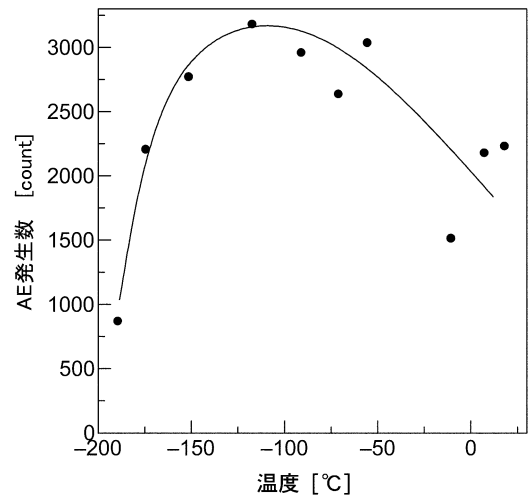


図7 温度と衝撃破断時に発生するAEの関係

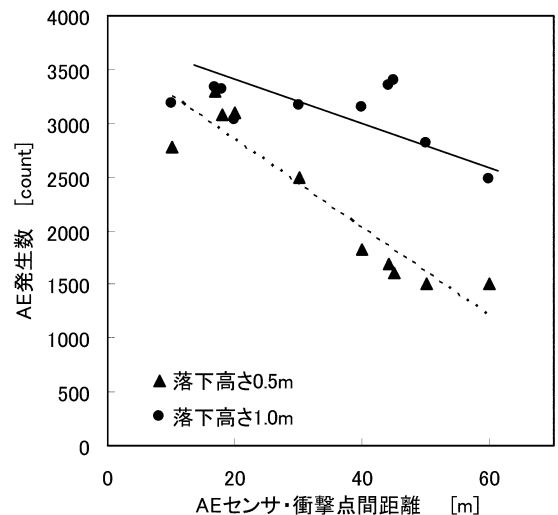


図8 AEセンサ・衝撃点間距離とAE

20m以上では落下高さの影響が顕著に現われ、衝撃エネルギーが高いほどA E発生数は多くなっている。また、衝撃距離が大きくなるとともにA E発生数もほぼ直線的に低下傾向を示すことが認められた。

4. 結 言

本研究では、低温状態での衝撃試験を行い、衝撃破壊時におけるA E特性を調べるとともに衝撃荷重がA E発生に及ぼす距離の影響について実験的検討を行った。その結果、明らかになった点を以下に述べる。

- (1) 極低温から低温状態でのシャルピー衝撃試験において、本研究で使用した材料は低温脆性を示し、遷移領域は -130°C から -80°C 付近と確認された。
- (2) A E発生数は極低温部から温度が上昇すると共に増加し、遷移領域で最大値を示した後、遷移領域を過ぎると減少する。
- (3) シャルピー衝撃値と脆性破面率の間には、よい相関性が確認されたが、A E発生数との相関は認められなかった。
- (4) A E発生数は衝撃荷重の作用点が20m以内ではほぼ一定値を示すが、20mを超えると距離の増加とともにその発生数は直線的な低下傾向を示す。

参考文献

- 1) 羽田野：A Eの定量的解析法，日本音響学会誌，31，1，3/10 (1975).
- 2) 中佐、永田：配管の疲れ損傷追跡へのA E法の適用について，圧力技術，31，2 (1975)，72～79.
- 3) Magnani, N, J. : Acoustic Emission and Stress-Corrosion Cracking of U-4 (1/2) wt%Nb, Exp. Mech, (1973), 526～530.
- 4) Gus', I, S. & Finker, V, M. : Relationship between the Spectrum of Waves Emitted by Energy Reserve at its Tip, 14(1973), 1619～1622.
- 5) 市瀬、岩井：衝撃強さとA E発生との相関について，奈良高専研究紀要，36，(2001)，1～4.
- 6) 打越：機械材料，東京電気大学出版局，(1998).
- 7) 吉田：金属表面の見方，日本工業新聞社，(1971)